ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

Comité de rédaction des Annales.

Rédacteur en chef :

L. GRANDEAU, directeur de la Station agronomique de l'Est.

U. Gayon, directeur de la Station agronomique de Bordeaux.
Th. Schlœsing, membre de l'Institut.
Th. Schlœsing fils, membre de l'Institut, directeur de l'Ecole des manufactures de l'État.
L. Mangin, docteur ès sciences, professeur au Muséum d'histoire naturelle.
A. Müntz, membre de l'Institut.
Ed. Henry, professeur à l'École nationale forestière.
E. Reuss, inspecteur des forêts à Fontainebleau.
C. Flammarion, directeur de la Station de climatologie agricole de Juvisy.

Correspondants des Annales pour les colonies et l'étranger.

COLONIES FRANÇAISES.

H. Lecomte, docteur ès sciences, professeur au lycée Saint-Louis.

ALLEMAGNE.

L. Ebermayer, professeur à l'Université de Munich.
J. König, directeur de la Station agronomique de Münster.
Fr. Nobbe, directeur de la Station agronomique de Tharandt.
Tollens, professeur à l'Université de Göttingen.
O. Kellner, directeur de la Station de Möckern.

ANGLETERRE.

R. Warington, à Harpenden.
Ed. Kinch, professeur de chimie agricole au collège royal d'agriculture de Cirencester.

BELGIQUE.

Grégoire, directeur de l'Institut chimique et bactériologique de l'État (Gembloux).
Graftiau, directeur du laboratoire agricole de Louvain.

CANADA.

Dr O. Trudel, à Ottawa.

ÉCOSSE.

T. Jamieson, directeur de la Station agronomique d'Aberdeen.

ESPAGNE ET PORTUGAL.

João Motta dâ Prego, à Lisbonne.

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

E. W. Hilgard, professeur à l'Université de Berkeley (Californie).

HOLLANDE.

A. Mayer, directeur honoraire de la Station agronomique de Wageningen.

SUÈDE ET NORVÈGE.

Dr Al. Atterberg, directeur de la Station agronomique et d'essais de semences de Kalmar.

SUISSE.

E. Schultze, directeur du laboratoire agronomique de l'École polytechnique de Zurich.

RUSSIE.

M. Ototzky, conservateur du musée minéralogique de l'Université impériale de Saint-Pétersbourg, rédacteur en chef de la *Pédologie*.

NOTA. — *Tous les ouvrages adressés* franco *à la Rédaction seront annoncés dans le premier fascicule qui paraîtra après leur arrivée. Il sera, en outre, publié, s'il y a lieu, une analyse des ouvrages dont la spécialité rentre dans le cadre des* Annales *(chimie, physique, géologie, minéralogie, physiologie végétale et animale, agriculture, sylviculture, technologie, etc.).*

Tout ce qui concerne la rédaction des Annales de la Science agronomique française et étrangère *(manuscrits, épreuves, correspondance, etc.) devra être adressé* franco *à M.* **L. Grandeau**, *rédacteur en chef, 48, rue de Lille, à Paris.*

ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

ORGANE

DES STATIONS AGRONOMIQUES ET DES LABORATOIRES AGRICOLES

PUBLIÉES

Sous les auspices du Ministère de l'Agriculture

PAR

LOUIS GRANDEAU

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE L'EST
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'AGRICULTURE DE FRANCE
RÉDACTEUR EN CHEF DU « JOURNAL D'AGRICULTURE PRATIQUE »
PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES STATIONS AGRONOMIQUES
VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'ENCOURAGEMENT A L'AGRICULTURE
MEMBRE DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'AGRICULTURE

2e SÉRIE — DIXIÈME ANNÉE — 1905

Tome II

Avec figures dans le texte

BERGER-LEVRAULT ET Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS

PARIS
5, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY
18, RUE DES GLACIS

1906

LE PHOSPHATE DE CHAUX

ET

L'ALIMENTATION DU BÉTAIL

1. — Remarques générales

L'addition de phosphate de chaux au fourrage des animaux de la ferme a pris dans ces dernières années, notamment en Allemagne, une grande extension. On trouve dans le commerce toutes sortes de poudres alimentaires, en grande partie formées de phosphate, fréquemment mélangé de carbonate de chaux et additionné de plus ou moins grandes quantités de substances odorantes ou sapides, telles qu'anis, fenouil, genièvre, réglisse, etc.

La sécheresse extrême de l'année 1904, comme celle de l'année 1893, ont provoqué chez le bétail, en Allemagne, des accidents d'ostéomalacie, affectant presque, par leur expansion, un caractère épidémique. On sait que l'ostéomalacie et l'ingestion de sels minéraux, particulièrement de phosphate de chaux, présentent des liens étroits. M. le Dr Passon a jugé le moment favorable pour présenter aux cultivateurs [1] un résumé complet des principales recherches poursuivies depuis un quart de siècle sur le rôle du phosphate dans l'alimentation du bétail.

En même temps paraissait dans le n° 6 des *Landw. Versuchs-*

1. *Journal für Landwirtschaft,* 33e vol., fasc. 2, 1905.

stationen une étude expérimentale faite à la station de Möckern, sur le degré d'assimilabilité de la chaux et des différentes formes de phosphates calcaires par les jeunes animaux.

Avant d'exposer les importantes expériences du Dr Köhler et de ses collaborateurs, à Möckern, je passerai rapidement en revue les faits intéressants relevés dans l'étude du Dr Max Passon.

L'attention des physiologistes et des agronomes s'est portée depuis longtemps déjà sur la valeur alimentaire des phosphates. Les premières recherches expérimentales remontent à l'année 1873 : Weiske et de Wild ont soumis, à cette époque, des animaux à une même alimentation, sauf sur un point : dans celle des uns entrait une certaine quantité de phosphate de chaux, les autres n'en recevant pas. Après avoir constaté une assimilation à des degrés variables de ce sel, d'un animal à l'autre, ils ont analysé les os des animaux sacrifiés, et reconnu qu'ils ne présentaient aucune différence dans leur teneur en phosphate, malgré ces différences de régime. Hofmeister a confirmé ce fait. La conclusion des expériences des trois expérimentateurs a été que l'addition de phosphate au fourrage est sans action sur la formation de la chair et du système osseux, quand les aliments sont suffisamment riches naturellement en acide phosphorique, ce qui n'a pas lieu de surprendre. Le rapport entre les quantités d'acide phosphorique et de chaux assimilées n'est pas celui où les deux substances existent en combinaison dans le phosphate. Hofmeister a trouvé comme coefficient d'assimilation 37,5 °/₀ pour l'acide phosphorique et 23,8 °/₀ seulement pour la chaux. Nous reviendrons plus loin sur cette question.

Raudnitz (1893) s'est proposé de déterminer dans des expériences sur le chien, le siège, dans le canal digestif, de l'absorption des sels terreux (chaux et strontiane). Il a constaté qu'elle s'effectue dans l'intestin, principalement au commencement du duodénum. Les carbonates sont résorbés en ce point, mais seulement lorsqu'ils ont été préalablement dissous dans le suc gastrique.

Pour vérifier l'opinion de beaucoup de praticiens qui admettent que l'addition de phosphate aux aliments des jeunes animaux rend leur squelette plus solide et en accroît la teneur en matières minérales, et sur l'observation de Weiske que le phosphate augmente la

production osseuse, Graffenberger a recherché l'influence de l'enrichissement du fourrage en phosphate consommé pendant la gestation. Le résultat de ses expériences fut que l'addition prolongée de phosphate neutre de chaux à la ration de la femelle gravide, n'a pas d'action sur le développement de l'être qu'elle porte dans ses flancs.

Quelle est l'influence du phosphatage et de l'addition de carbonate de chaux sur l'organisme dans le cas d'une alimentation avec des fourrages pauvres en chaux et en acide phosphorique ? Que se passe-t-il dans le cas d'une alimentation riche en principes acides ? Une série d'expériences a été entreprise par différents physiologistes pour élucider ces questions d'un grand intérêt. Nous allons en résumer brièvement les principaux résultats.

Forster soumet un chien à une alimentation contenant des quantités de substances azotées (viande) et de graisse suffisantes pour l'entretien de l'animal, mais exempte de matières minérales. Il constate, d'après les quantités d'acide phosphorique et de chaux éliminées par l'animal, qu'il a perdu, pendant l'essai, $13^{gr},57$ de chaux et $17^{gr},3$ d'acide phosphorique provenant de son squelette. Un animal privé de sels calcaires dans son régime dépérit presque aussi vite que si on lui supprime toute alimentation. Weiske a constaté que chez les adultes (chèvres) une alimentation pauvre en chaux ne modifie pas sensiblement la composition de leurs os.

Nessler, en 1873, proposa de substituer le phosphate précipité, titrant 36 à 40 °/₀ d'acide phosphorique, à la poudre d'os alors en usage, qui renferme seulement 20 à 22 °/₀ d'acide phosphorique combiné à de la gélatine facilement putrescible.

Lunin, en 1881, montra que le soufre qui fait partie constituante de l'albumine, se transforme, dans l'organisme, en acide sulfurique. Dans le cas d'une alimentation dépourvue de sels calcaires, cet expérimentateur montre que l'acide sulfurique ainsi produit ne rencontrant pas, dans les aliments, les bases nécessaires à sa saturation, emprunte la chaux aux tissus de l'animal, dont le dépérissement rapide entraîne bientôt la mort. Les expériences de Lunin sont confirmées par Weiske et d'autres observateurs, qui démontrent que l'acide libre, comme l'acide phosphorique ajouté à un fourrage

(foin), se comportent comme l'acide sulfurique et décalcarisent les tissus.

D'intéressantes expériences sur le porc ont été faites à la station d'essais du Wisconsin : elles ont montré l'influence considérable que les cendres phosphatées (cendres de bois) et la poudre d'os exercent sur l'utilisation de la farine de maïs par cet animal et sur la résistance de ses os à la fracture.

Un lot de porcs était exclusivement nourri avec du maïs et, comme boisson, recevait de l'eau additionnée d'un peu de sel. Un autre lot était soumis au même régime, mais on ajoutait au maïs de la farine d'os ou des cendres de bois. Pour atteindre un accroissement de poids vif de 50 kilogr., les animaux du premier lot ont consommé 319^{kg},5 de maïs. Dans le deuxième lot, les porcs ont consommé, pour produire le même croît (50 kilogr.), 255 et 246 kilogr. de maïs, suivant que ce dernier était additionné de poudre d'os ou d'un mélange de poudre d'os et de cendres. L'addition de phosphate a donc favorisé très notablement l'utilisation du maïs.

On a recherché, après abatage, comment se comportaient les os, au point de vue de leur rigidité et de leur résistance à la rupture.

Les os des porcs nourris sans addition de substance minérale au maïs étaient très faibles, les fémurs se rompaient déjà sous un poids de 150 kilogr. Au contraire, il fallait un poids de 295 kilogr. pour rompre les fémurs des animaux qui avaient consommé l'alimentation aux cendres de bois, et de 340 kilogr. chez ceux qui avaient reçu de la poudre d'os. Les os des porcs soumis à la farine d'os et aux cendres ajoutées au maïs laissèrent, par calcination, 50 °/₀ de cendres de plus que ceux des animaux alimentés au maïs seul.

La poudre d'os paraît donc avoir exercé une action supérieure à celle des cendres. Les truies ne doivent pas, d'après les observations du Wisconsin, être alimentées de maïs seul.

On a fait aussi d'assez nombreuses expériences sur l'influence que peut exercer le phosphatage du fourrage sur l'enrichissement du lait en acide phosphorique. Les résultats ont été contradictoires, mais, dans leur ensemble, ils paraissent établir le peu d'action de l'addition des phosphates sur la composition du lait, ce qui ne surprendra pas les physiologistes.

2. — Les maladies des os et l'alimentation phosphatée

Dans son remarquable *Traité des maladies du bétail* (1), le professeur Moussu a consacré un intéressant chapitre aux maladies des os, qu'il range en deux classes : les affections locales, telles que ostéites, périostites, nécroses, fractures, etc., assez rares chez le bétail de la ferme, et les affections générales, rachitisme et cachexie osseuse, beaucoup plus fréquentes et qui causent parfois de grandes pertes aux cultivateurs.

Le rachitisme est une affection des jeunes, une affection de croissance ; la cachexie osseuse est une maladie des adultes, mais il y a un certain degré de parenté entre les deux états morbides, car on peut les observer dans une même famille.

Le rachitisme et la cachexie osseuse (le professeur Moussu préfère cette dernière dénomination à celle d'ostéomalacie) ont pour caractéristique générale une diminution de la proportion normale des sels minéraux entrant dans la constitution des os.

La cachexie osseuse est une maladie générale, dont l'évolution lente et progressive dans le type cachectique, aboutit à des localisations apparentes prédominantes du système osseux. Elle est connue de longue date. Déjà signalée par Végèce, cette maladie est observée vers 1650 en Norvège, où on la combat par l'administration d'os pilés. Assez fréquente en Allemagne, elle a été étudiée en France, dès 1825, par Roux, mais c'est Zundel qui, le premier, en 1870, en donna une bonne description. Depuis cette époque, elle a été successivement signalée : dans l'Yonne, dans la Nièvre, l'Indre, la Vendée, Indre-et-Loire, Loir-et-Cher, Berry, en Sologne et en Beauce. Nos lecteurs consulteront avec grand profit le chapitre très documenté que M. Moussu lui a consacré.

Sans entrer dans aucun détail au sujet des opinions nombreuses qui ont été émises sur les causes du rachitisme et de la cachexie osseuse, je me bornerai à rappeler que la donnée admise à peu près

---

1. 1 vol. in-8, avec 189 figures dans le texte et 4 planches en chromotypographie, chez Asselin et Houzeau. Paris, 1902.

unanimement aujourd'hui, rattache l'évolution de la maladie à une alimentation défectueuse, et particulièrement à la consommation par le bétail de fourrages pauvres en chaux et en acide phosphorique. Les exemples abondent pour étayer cette opinion émise et soutenue d'abord en Allemagne, et qui ne rencontre plus que de rares contradicteurs. Les travaux de Cantiget ont démontré que la cachexie osseuse existe seulement là où les sols sont trop pauvres en acide phosphorique et en sels calcaires pour donner des fourrages suffisamment riches en ces substances, et que l'emploi d'engrais phosphatés dans ces terrains diminue les pertes de bétail dues à la cachexie qui finit par disparaître avec l'enrichissement du sol en acide phosphorique.

A côté de la cause déterminante due à l'alimentation, M. Moussu admet qu'il existe des causes favorisantes dont l'action est indéniable : telles, la lactation abondante, la gestation. La maladie est plus rare chez les bœufs. La misère physiologique, les mauvaises conditions d'hygiène interviennent aussi, et il est à remarquer que c'est toujours dans les années sèches et dans les années de disette fourragère que la cachexie osseuse fait ses plus grands ravages.

A ce sujet, les recherches de Bongartz (1894), et celles de Seelhorst (1900) sont particulièrement intéressantes et démonstratives : je vais les résumer.

Bongartz [1] a étudié le développement épidémique de la cachexie osseuse au printemps et dans l'été de 1894. Cette explosion a été, selon lui, la conséquence de la sécheresse de 1893. L'analyse de fourrages, faite par Stutzer, a mis en évidence la pauvreté des denrées alimentaires du bétail en acide phosphorique comme l'indiquent les chiffres suivants :

NATURE DES FOURRAGES	ACIDE PHOSPHORIQUE	
	Composition en 1894	Composition normale moyenne
	%	%
Betteraves fourragères . . .	0,43	0,80
Pailles	0,85	2,50
Foins.	2,92	4,30
Sons de blé	25,50	26,90

1. *Fühling's Landw. Zeitung*. 1894.

Plus le sol était sec, plus grande fut la production de la cachexie. Von Seelhorst [1] fit des observations analogues en 1900. Dans le trèfle, dit-il, l'assimilation de l'acide phosphorique n'augmente que par l'enrichissement du sol en eau, celle-ci provoquant la dissolution d'une quantité beaucoup plus grande des phosphates qui enrichiront la sève du végétal. Cet agronome a constaté que la teneur en acide phosphorique de la plante, étant de 0gr,550 dans le cas d'un terrain sec, s'élevait à 1gr,234 dans les parcelles arrosées, fumées comme les parcelles sèches.

La première coupe du trèfle a présenté, dans sa teneur en acide phosphorique, les écarts suivants dans les parcelles fumées et sans fumure, diversement pourvues d'eau :

	PARCELLES			
	Fumées		Non fumées	
	Acide phosphorique fixé	%	Acide phosphorique fixé [2]	%
	Grammes		Grammes	
Beaucoup d'eau	0,550	0,456	0,487	0,428
Quantité d'eau moyenne . . .	0,880	0,536	0,844	0,553
Peu d'eau	1,234	0,540	1,097	0,523

L'influence de la sécheresse sur la composition de la récolte est donc manifeste. Von Seelhorst a constaté également une augmentation en acide phosphorique dans la teneur des pailles de céréales, avec une richesse croissante du sol en eau.

O. Kellner [3] a fait en 1894 l'analyse de foins et de pailles récoltés dans différentes exploitations, où l'on a constaté cette année-là l'apparition à plusieurs reprises de la cachexie osseuse chez le bétail nourri avec ces fourrages bruts. Dans tous les cas, on va le voir, il a constaté une insuffisance marquée d'acide phosphorique.

---

1. *Journal für Landw.* 1900.
2. Pour un même poids de trèfle.
3. *Fühling's Landw. Zeitschrift.* 1901.

1 000 parties de cendres contenaient :

FOINS DES EXPLOITATIONS DE :		ACIDE phosphorique
Prairies	Schellerhau	2,17
	Drehbach	2,62
Foin annuel	Schellerhau	2,57
	Drehbach	2,76
	Marienberg	2,80
Foin moyen		**4,30**
PAILLES		
Paille d'avoine	Marienberg	0,41
	Drehbach	1,61
Paille d'avoine moyenne		**2,80**
Paille de seigle	Drehbach	0,84
Paille de seigle moyenne		**2,50**

Ces résultats confirment ceux qu'ont constatés antérieurement Karmrodt, Nessler et d'autres observateurs, qui ont également attribué la maladie à la trop faible teneur des foins et pailles en acide phosphorique.

Dans la plupart des cas une hygiène meilleure et l'addition de 30 à 50 grammes de phosphate de chaux, par jour et par tête, ont sauvé les animaux. On peut prévenir la maladie par une fumure phosphatée abondante des prairies et du sol qui portent d'autres récoltes fourragères. Les scories de déphosphoration produisent à ce point de vue les meilleurs résultats. Non seulement elles modifient très favorablement la nature de la flore des prairies par le développement des légumineuses et augmentent les rendements, mais elles favorisent à un haut degré l'enrichissement des plantes en principes alimentaires et particulièrement en acide phosphorique.

3. — Le phosphate de chaux et l'alimentation

Il n'existe plus aujourd'hui, je viens de le dire, aucun doute sur l'importance considérable de l'acide phosphorique et de la chaux pour l'organisme animal. Ces substances se rencontrent dans presque

tous les liquides et tissus du corps, en plus ou moins grande proportion. D'après les recherches de Schenke, la partie inorganique des os des mammifères contient 60 à 70 °/₀ de combinaisons phosphatées calciques; chez les oiseaux on en trouve de 75 à 85 °/₀; chez les amphibies et les poissons 21 à 25 °/₀ seulement.

La condition de nutrition la plus favorable des jeunes animaux et des adultes est celle où ils trouvent dans leurs aliments naturels, à l'état de combinaisons organiques, les quantités d'acide phosphorique et de chaux qui leur sont indispensables. Dans des cas anormaux où les rations alimentaires sont constituées par certaines denrées en excès, telles que pailles, pulpes ou drêches, etc., etc., on peut craindre que les animaux ne reçoivent de trop faibles quantités d'acide phosphorique et surtout de chaux. La faiblesse de la teneur en ces principes de semblables aliments peut être compensée par une addition artificielle de phosphates calciques.

Parmi les substances atteignant ce but qu'on trouve aujourd'hui dans le commerce, le phosphate dit précipité et certains autres phosphates préparés industriellement occupent la première place. Les phosphates précipités du commerce sont fréquemment composés d'un mélange de phosphate tricalcique et de phosphate bicalcique, obtenu en précipitant par un lait de chaux les phosphates des os dissous dans l'acide chlorhydrique; mais c'est principalement leur richesse en phosphate bicalcique qui sert à en déterminer la valeur.

Les expériences déjà anciennes et nombreuses de Lehmann, von Gohren, Hofmeister, Weiske, Wildt, ont montré que l'acide phosphorique et la chaux du phosphate précipité sont assimilés par les animaux, mais elles ne renseignent pas sur la proportion suivant laquelle l'assimilation a lieu, autrement dit, sur le coefficient d'utilisation de ce sel. On ne sait pas davantage quelles quantités des diverses substances phosphatées qui sont l'objet de nombreuses réclames (farine d'os dégélatinés, os calcinés, cendre d'os, etc.), peuvent être substituées au phosphate précipité.

En l'absence de renseignements résultant d'expériences sur le coefficient d'assimilation des divers phosphates inorganiques, les collaborateurs de O. Kellner, l'éminent directeur de la station de Möckern, se sont proposé d'établir par des essais comparatifs la

valeur relative de ces différents phosphates ajoutés à l'alimentation ordinaire [1]. A cet effet, dans une première série d'expériences (1903), ils ont soumis deux moutons d'un an à un essai complet d'alimentation (pesées et analyses des fourrages, récolte et analyse des fèces et de l'urine).

Le plan de l'expérience faite sur les animaux qui n'avaient pas encore acquis tout leur développement, a consisté à les soumettre à quatre périodes d'alimentation (II à V) avec le même fourrage, additionné des divers phosphates en quantité représentant, dans toute la durée de chaque essai, une addition de 5 grammes d'acide phosphorique réel, par jour et par tête.

Les périodes initiale et finale (I et VI) ont servi de témoins pour déterminer l'utilisation par les animaux du fourrage fondamental (sans addition de phosphates).

Dans chaque période, six à dix jours se sont écoulés avant la récolte quotidienne des fèces et de l'urine. L'eau donnée en boisson, *ad libitum,* était pesée chaque jour ; on avait déterminé sa teneur en chaux.

L'agneau n° 1 pesait 49^{kg},4 au début des expériences, 54^{kg},4 à la fin. Les poids de l'agneau n° 2 furent, respectivement, 48^{kg},8 au début et 52^{kg},1 à la fin. La nourriture donnée a été identique pendant toutes les périodes. Sa teneur en substance sèche et sa composition ont été déterminées pour chacune des périodes.

Les deux agneaux ont reçu, par jour, les quantités d'aliments suivantes :

ALIMENTS	SUBSTANCE SÈCHE	
	%	Grammes
400 grammes de paille d'avoine	85,21	340,84
300 — drêches de maïs	89,53	268,59
200 — fécule	80,52	161,04
100 — sucre	99,92	99,92
75 — gluten	89,32	66,99

On ajoutait, par tête, à chaque ration, 10 grammes de sel de cui-

1. « Ueber die Assimilation des Kalkes und der Phosphorsäure aus verschiedenen Kalkphosphaten durch wachsende Tiere. » Dr Köhler, Honcamp, Just, J. Volhard, Popp et Zahn. (*Versuchsstationen,* t. LXI, fasc. 5 et 6, 1905.)

sine. Les moutons ont toujours complètement consommé leurs rations.

En ce qui regarde la composition de chacun des aliments consommés, je me bornerai à indiquer leur teneur centésimale en matière azotée, en acide phosphorique et en chaux, en la comparant à celle des phosphates employés dans les expériences :

FOURRAGES	MATIÈRES protéiques	ACIDE phosphorique	CHAUX
—	—	—	—
	%	%	%
Paille d'avoine.	5,13	0,351	0,344
Drêches de maïs.	33,94	0,618	0,038
Gluten.	69,63	0,944	0,125
Sucre	»		
Fécule.	0,36		
Phosphate tricalcique	»	40,19	49,05
— bicalcique	»	42,23	33,82
Farine d'os dégélatinés . . .	6,50	33,60	45,07
Os calcinés	»	40,94	53,69

Dans les périodes I et VI (fourrage sans addition de phosphates), les pertes du corps en acide phosphorique et en chaux ont été de 0gr,543 d'acide phosphorique et de 1gr,254 de chaux chez l'agneau n° 1, et de 0gr,162 d'acide phosphorique et 0gr,801 de chaux pour le n° 2, faits qui confirment les observations de Forster et de Voit, à savoir, que dans le cas d'une alimentation pauvre en acide phosphorique et en chaux, les os et le système musculaire de l'animal s'appauvrissent en ces deux substances.

Cette constatation va rendre d'autant plus sensible l'action des phosphates ajoutés aux aliments dans les périodes II à V.

Dans ces périodes, les quantités des divers phosphates nécessaires pour fournir aux moutons un poids égal de 5 grammes d'acide phosphorique ont été les suivantes.

Les moutons ont consommé dans leur mélange fourrager :

Période II. — Phosphate tricalcique	12gr,44
— III. — Phosphate bicalcique	11 ,57
— IV. — Farine d'os dégélatinés	14 ,88
— V. — Os calcinés	12 ,21

La digestibilité des principes organiques des fourrages a été

élevée et régulière, ce qui accentue les différences d'utilisation de la chaux et de l'acide phosphorique, suivant leur origine.

Dans la deuxième période, on a additionné la ration fondamentale de 12gr,44 de phosphate tricalcique, soit 5 grammes d'acide phosphorique et 6gr,102 de chaux. Le corps des animaux a assimilé (retenu) les quantités suivantes :

	ACIDE phosphorique	CHAUX
	—	—
	Grammes	Grammes
N° 1	1,731	2,087
N° 2	1,814	1,679
Soit, en moyenne . . .	1,773	1,883

soit 35,5 °/₀ d'acide phosphorique et 30,8 °/₀ de chaux des quantités données.

Dans la troisième période, pendant laquelle les agneaux ont reçu, en addition à leur fourrage, 11gr,566 de phosphate bicalcique (= 5 grammes d'acide phosphorique et 3gr,912 de chaux), c'est-à-dire beaucoup moins de chaux que dans la période précédente, le corps des animaux a retenu (moyenne des deux agneaux) les quantités ci-dessous :

Acide phosphorique	1gr,299
Chaux	1 ,305

soit 26 °/₀ d'acide phosphorique et 33,4 °/₀ de chaux des quantités données.

Période IV. — 14gr,881 de farine d'os dégélatinés, ajoutés au fourrage, ont apporté 5 grammes d'acide phosphorique et 6gr,707 de chaux. — L'assimilation a été de :

Acide phosphorique	0gr,653
Chaux	1 ,459

soit 13,1 °/₀ d'acide phosphorique et 21,8 °/₀ de chaux.

Enfin, dans la cinquième période, l'addition de 12gr,213 d'os calcinés à la ration lui a fourni 5 grammes d'acide phosphorique et 6gr,557 de chaux. Le corps des agneaux a fixé en moyenne 0gr,708 d'acide phosphorique et 1gr,200 de chaux, soit 14,2 et 18,3 °/₀ de la chaux, des quantités ingérées.

De cette première série d'expériences, il résulte que les os dégélatinés et les os calcinés ont été les phosphates les moins bien utilisés par les animaux. L'assimilation de l'acide phosphorique et de la chaux a été de beaucoup supérieure dans le cas du phosphate tricalcique (35 °/₀) et du phosphate bicalcique (26 °/₀).

Ces résultats paraissent au premier abord surprenants, disent les auteurs de ces expériences ; mais si on compare entre elles les périodes II et III, on voit que, dans le cas de l'alimentation au phosphate bicalcique, les animaux ont reçu 2gr,2 de chaux de moins que dans la période II. L'utilisation moins bonne de l'acide phosphorique sous forme de composé bicalcique devrait, d'après cela, être attribuée à la teneur plus faible en chaux de la ration alimentaire.

Pour vérifier cette hypothèse, Köhler et ses collaborateurs ont entrepris, en 1904, une nouvelle série d'expériences dont les résultats sont des plus intéressants au point de vue du choix à faire des phosphates pour combattre la cachexie osseuse chez les animaux de la ferme.

Dans la première série d'expériences comparatives sur l'assimilation des différents phosphates de chaux par le mouton, Köhler et ses collaborateurs avaient constaté un fait qui les a surpris, à savoir, que l'acide phosphorique du phosphate précipité (phosphate bicalcique) avait été beaucoup moins bien utilisé par les animaux que le phosphate tricalcique (26 °/₀ contre 35 °/₀). Ils ont pensé que ce résultat pouvait être attribué à la teneur trop faible en chaux de la ration au phosphate précipité. Pour vérifier cette hypothèse, les expériences, reprises en 1904 sur deux agneaux de six mois, ont été conduites d'après le plan adopté l'année précédente.

La ration fondamentale n'a pas varié pendant la durée des expériences ; elle se composait, par tête et par jour, des éléments suivants :

Paille d'avoine.	400	grammes
Son de blé	400	—
Gluten.	75	—
Sel de cuisine	8	—
Phosphate tricalcique	2,5	— (1)

1. 1 gramme d'acide phosphorique et 1gr,23 de chaux.

La substance sèche des fourrages et les phosphates complémentaires de la ration présentaient les teneurs centésimales suivantes en acide phosphorique et en chaux :

NATURE DES ALIMENTS	ACIDE phosphorique	CHAUX
	%	%
Paille d'avoine	0,244	0,527
Gluten	0,922	0,080
Son de blé	0,346	0,052
Phosphate tricalcique	40,16	49,12
— bicalcique	41,99	33,59
Lactate de chaux	»	18,11

Deux périodes d'essai (I et VI) ont servi, comme dans les expériences de l'année précédente, à déterminer l'utilisation (la digestibilité) de la ration fondamentale.

Cette ration s'est montrée tout à fait suffisante pour l'entretien des animaux (1).

Le poids vif de l'agneau qui a parcouru toutes les phases de l'expérience était au début 27^{kg},800, à la fin 35 kilogr.

La ration fondamentale a fourni par jour à cet agneau 3^{gr},57 d'acide phosphorique et 3^{gr},46 de chaux, c'est-à-dire près de deux fois plus de ce dernier principe que n'en avaient reçu les deux moutons dans la série d'expériences de 1903. Dans les périodes destinées à servir de témoins, l'animal a fixé, dans ses tissus, 0^{gr},40 d'acide phosphorique et 0^{gr},08 de chaux de plus que les moutons soumis en 1903 à la ration fondamentale.

Dans la période II (1904), on a ajouté à la ration fondamentale quotidienne 7^{gr},5 de phosphate tricalcique (= 3 grammes d'acide phosphorique et 3^{gr},69 de chaux). L'animal a fixé dans son corps :

Acide phosphorique	1^{gr},16
Chaux	1 ,31

soit 38,6 % d'acide phosphorique et 35,6 % de chaux des quantités données.

1. Un accident survenu au cours des essais a fait abandonner l'un des agneaux.

Dans la période III, l'agneau a reçu, par jour, une addition de 7gr,2 de phosphate bicalcique et 2gr,4 de chaux ; il a fixé :

Acide phosphorique	1gr,05
Chaux.	1 ,23

soit 35 °/₀ d'acide phosphorique et 50,8 °/₀ de chaux des quantités données.

Le phosphate bicalcique est donc encore demeuré en arrière du phosphate tricalcique, au point de vue de l'assimilation de l'acide phosphorique : on voit cependant que les quantités d'acide phosphorique et de chaux assimilées, qui étaient respectivement de 26 °/₀ et de 33 °/₀ en 1903, se sont élevées, en 1904, à 35 °/₀ et à 50,8 °/₀ ; ces augmentations de l'utilisation supérieure de ces deux principes dans les expériences de 1904, semblèrent ne pouvoir s'expliquer que par la teneur en chaux plus élevée des rations de 1904. Pour avoir la preuve que le phosphate bicalcique est d'autant mieux assimilé que la ration qui le renferme est plus riche en chaux, on ajouta à la ration un sel de chaux soluble, le lactate de chaux, à la dose de 7gr,06 par jour. La chaux contenue dans ce poids de lactate (1gr,29 de chaux) correspond à celle que la ration au phosphate tricalcique renfermait en plus que la ration au phosphate bicalcique.

Dans la période IV, l'agneau a reçu par jour :

	ACIDE phosphorique	CHAUX
	Grammes	Grammes
Ration au phosphate bicalcique. . . .	3,02	2,42

additionné de :

Lactate de chaux . . 7 grammes = 1gr,29 de chaux ;

il a assimilé 1gr,64 d'acide phosphorique et 2gr,07 de chaux, soit **54,2** °/₀ d'acide phosphorique et **55,9** °/₀ de chaux des quantités consommées.

Le tableau ci-dessous résume les résultats de toutes les expériences :

DÉSIGNATION des agneaux	QUANTITÉS de phosphates de chaux ajoutées à la ration fondamentale	TENEUR en acide phosphorique	TENEUR en chaux	PROPORTION centésimale d'acide phosphorique et de chaux assimilés : Acide phosphorique	PROPORTION centésimale d'acide phosphorique et de chaux assimilés : Chaux
—	—	—	—	—	—
Numéros	Grammes				
1 et 2 (1903).	12,44 de phosphate tricalcique.	5,000	6,102	35,5	30,8
4 (1904) . .	7,50 — —	3,000	3,690	38,6	35,6
1 et 2 (1903).	11,566 — bicalcique.	5,000	3,912	26,0	33,4
4 (1904) . .	7,2 — —	3,020	2,420	35,0	50,8
4 (1904) . .	7,2 — — 7,06 de lactate de chaux. .	3,020	3,700	54,3	55,9
1 et 2 (1903).	14,881 d'os dégélatinés . . .	5,000	6,707	13,1	21,8
1 et 2 (1903).	12,213 d'os calcinés	5,000	6,557	14,2	18,3

Ces résultats montrent que les animaux soumis aux expériences ont assimilé le minimum d'acide phosphorique et de chaux (en proportions voisines) dans la poudre d'os dégélatinés et dans la cendre d'os. Ces faits justifient la moindre confiance qu'on accorde dans la pratique à l'emploi de ces deux phosphates dans l'alimentation du bétail. Ils montrent, en outre, que l'assimilabilité de l'acide phosphorique, de la chaux et du phosphate tribasique est plus grande qu'on ne l'admettait jusqu'ici, en l'absence d'expériences directes, il est vrai.

L'infériorité du phosphate bicalcique par rapport au phosphate tricalcique, au point de vue du coefficient d'assimilabilité, dépendait évidemment de la pauvreté de la ration en chaux, car l'addition d'un sel soluble de chaux au phosphate bicalcique a considérablement augmenté la fixation par l'animal de l'acide phosphorique et de la chaux. Le lactate de chaux ajouté a élevé le coefficient d'assimilabilité de l'acide phosphorique de 26 °/₀ et 35 °/₀ à 54 °/₀.

Les savants expérimentateurs de Möckern poursuivent leurs essais sur le rôle des sels de chaux, autres que le lactate, dans la fixation du biphosphate de chaux. En attendant, ils conseillent d'employer de préférence aux autres phosphates, le phosphate *précipité*, mélange de bi et triphosphate de chaux.

On a déterminé, à la station de Möckern, la solubilité au citrate (méthode de Petermann) des différents phosphates employés en 1903 et 1904 aux expériences que nous venons de résumer.

Ces analyses ont donné les résultats suivants :

NATURE DES PHOSPHATES	ACIDE PHOSPHORIQUE total	ACIDE PHOSPHORIQUE soluble au citrate	TENEUR en acide phosphorique soluble °/o d'acide phosphorique total
—	—	—	—
	°/o	°/o	°/o
Poudre d'os dégélatinés . . .	33.60	3,39	10,10
Os calcinés.	40,94	0,63	1,54
Phosphate tricalcique (1903).	40,19	3,47	8,64
— — (1904).	40,16	3,78	9,40
— bicalcique (1903).	43,23	39,27	80,84
— — (1904).	41,94	39,86	94,93

Un appendice au mémoire de Köhler contient tous les documents et analyses relatifs aux expériences : composition des rations, digestibilité, composition des excréments, quantités d'eau consommées, poids vifs, etc. J'y renverrai les lecteurs que le détail des recherches de la station de Möckern intéresserait particulièrement.

4. — Indications pratiques sur l'emploi du phosphate de chaux dans l'alimentation du bétail

Composition et prix du phosphate précipité. — Ce produit s'obtient, on le sait, en traitant par un lait de chaux (dissolution de chaux vive dans l'eau), le liquide qui résulte de la décomposition des os par l'acide chlorhydrique. L'action de cet acide sur les os verts a pour résultat de séparer les éléments qui les constituent en deux ordres de substances : les sels calcaires, phosphates, carbonates, etc., passent en dissolution, et les matières organiques (osséine, chondrine) qui forment la trame des os, sont ainsi isolées et servent à la fabrication de la gélatine (colle forte).

On prépare aussi le phosphate précipité en traitant, par un lait de chaux, une dissolution chlorhydrique d'un phosphate tricalcique minéral.

Quand on verse le lait de chaux dans la solution chlorhydrique, l'acide phosphorique se précipite à l'état de phosphate bicalcique et de phosphate tricalcique en proportions variables suivant le mode d'opérer; le phosphate bicalcique est presque toujours en grand excès dans le précipité. Certaines chaux sont préférables à d'autres pour la préparation du phosphate précipité destiné à l'alimentation du bétail, telle est du moins l'opinion des cultivateurs belges, à laquelle la grande usine de Pont-Brûlé, à Vievorde (Belgique), donne satisfaction en employant pour les opérations un calcaire particulier.

Le phosphate précipité renferme de 38 à 40 °/₀ de son poids d'acide phosphorique. Le prix de l'unité d'acide phosphorique y est actuellement de 53 à 54 centimes le kilogramme d'acide phosphorique, soit environ 18 fr. les 100 kilogr. de phosphate précipité, acheté par quantité d'au moins 50 kilogr. (1).

Quantité de phosphate précipité à introduire dans la ration des animaux. — Le phosphate précipité, convenablement fabriqué, est absolument inoffensif, même à des doses journalières très élevées, ainsi que l'a montré la pratique de certains cultivateurs belges, qui en ont fait consommer, paraît-il, jusqu'à 2 kilogr. par vingt-quatre heures, associés à la ration de bœufs adultes.

Il est difficile d'indiquer d'une façon rigoureuse, pour chaque espèce animale, la quantité de phosphate précipité à ajouter aux rations normales. Cette quantité dépend avant tout du but qu'on se propose, du poids vif et des conditions sanitaires du bétail. S'agit-il d'animaux sains, mais qu'on suppose insuffisamment alimentés en phosphates à raison de la pauvreté de leur ration (pulpes, paille ou foin de médiocre qualité), des doses variant de 15 à 25 grammes par jour, pour des moutons d'un poids vif de 30 à 45 kilogr., seront dans la plupart des cas suffisantes. Pour les veaux, on pourra porter la dose à 50 ou 60 grammes ; pour les porcs, selon leur taille, on donnera de 80 ou 100 grammes ; enfin, pour des bœufs, on pourra employer 100 à 150 grammes ou davantage. L'observation indiquera à l'œil

1. L'usine de Nanterre de MM. Roy et Cie livre ce produit, autant que j'ai pu savoir, dans les conditions de composition et de prix ci-dessus.

attentif de l'éleveur les augmentations en phosphate dont les rations sont susceptibles; mais, je le répète, cette substance étant inoffensive, on pourra, sans crainte, donner des doses assez élevées.

S'agit-il d'animaux menacés visiblement de cachexie osseuse, les quantités de phosphate à faire consommer devront être plus élevées que celles administrées aux animaux sains.

Ici encore, une observation attentive et les conseils d'un vétérinaire expérimenté devront guider l'éleveur.

Phosphatage des prairies. — Je reviens, en terminant, sur un point capital : l'enrichissement naturel des fourrages en phosphate par l'emploi des phosphates calcaires et surtout des scories Thomas, pour la fumure des terres. Dans une exploitation dont les terres reçoivent abondamment et régulièrement, comme fumure, des engrais phosphatés, on n'aura, pour ainsi dire, jamais besoin de recourir à l'addition de phosphates aux rations des animaux. Tout au plus devra-t-on y faire appel pour l'alimentation des jeunes bêtes, moutons, porcs ou veaux, pendant leur croissance.

Il va sans dire que les indications qui précèdent n'ont qu'un caractère général, qui ne saurait dispenser les éleveurs de suivre attentivement le régime alimentaire de leur bétail, afin d'y apporter dans chaque cas particulier les modifications que l'observation suggérera. Le proverbe allemand : « L'œil du maître engraisse le bétail », trouve toujours son application dans les écuries et les étables.

L. Grandeau.

LE TITANE

Propriétés du titane et de ses différents composés. — Études des différentes méthodes actuellement employées pour la séparation et le dosage de l'acide titanique et notamment dans certaines substances, fers, fontes, aciers, minerais de fer, bauxites, argiles, etc. — Études nouvelles sur le dosage de l'acide titanique. — Présence et dosage de l'acide titanique dans les sols et les végétaux, notamment dans la canne à sucre et la betterave.

Par H. PELLET et CH. FRIBOURG

PREMIÈRE PARTIE

PROPRIÉTÉS DU TITANE ET DE SES DIFFÉRENTS COMPOSÉS

Généralités. — Le titane fut entrevu dès 1790 par William Mac Gregor, pasteur de la paroisse de Menachan, village de Cornwall, en examinant un sable en grains noirs, trouvé dans le ruisseau de Gonhilly.

En 1794, Klaproth considéra le schorl rouge de Boirik (Hongrie) comme l'oxyde d'un métal hypothétique, le titanium ou titane [1]. Vauquelin et Hecht en 1795 montrent l'analogie du schorl rouge de Hongrie avec le rutile de Saint-Yrieix (Haute-Vienne), qui peut contenir jusqu'à 97,60 °/₀ d'acide titanique (Damour).

On connaît aussi, comme minerais du titane, l'anatase, la brookite, la perouskite, le sphène et divers titanates complexes rares.

On a également trouvé dans des scories de hauts fourneaux un azotocyanure de titane renfermant 78 °/₀ de titane.

---

1. L. Lévy. Thèse, 1891.

M. L. Lévy a obtenu le premier le titane à l'état cristallisé en faisant réagir du chlorure de titane sur les métaux (Thèse, 1891).

Le poids atomique a beaucoup varié. Il a été de 48,60, 50,35 et 55,60.

Aujourd'hui il a été admis comme étant de 48,1, l'oxygène étant 15,88, et de 47,7, l'hydrogène étant 1 (1).

D'après cela, l'acide titanique, en prenant le poids atomique nouveau, contiendrait 60,04 °/₀ de titane, tandis qu'en prenant l'équivalent de 50, on a le coefficient 60,975 (Carnot).

Réactions générales du titane. — Les solutions de titane sont réduites par le zinc ; il se produit une coloration violette très caractéristique. On a également une coloration violette au chalumeau, par la perle avec le borax ou le sel de phosphore (flamme réductrice). La coloration devient rouge sang en présence du fer.

L'hydrate titanique précipité par l'ammoniaque se dissout dans les acides, mais moins facilement s'il a été lavé à l'eau bouillante.

Les alcalis précipitent l'oxyde de titane de ses solutions mais le redissolvent difficilement.

L'acide titanique se colore par l'eau oxygénée (Pisani). Dissoudre l'acide titanique dans l'acide sulfurique concentré, étendre d'un volume d'eau ; puis, après avoir encore étendu d'eau, ajouter à froid du bioxyde de baryum et soumettre la solution à une précipitation fractionnée par l'ammoniaque, et on obtient une poudre jaune foncé.

La coloration produite par le titane avec l'eau oxygénée est très sensible : avec 1 gramme de titane par litre on a une couleur orange ; avec 0gr,100 on a une couleur jaune et avec 0gr,020 on a une réaction incertaine (2).

M. L. Lévy a signalé divers réactifs nouveaux du titane (3). Ces nouveaux réactifs sont principalement la morphine, les phénols,

---

1. Table des poids atomiques internationaux pour 1904. (*Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie,* numéro de juin 1904, p. 1255.)

2. D'après Schœn et Hepp et Weller.

3. *Comptes rendus de l'Académie des sciences,* 23 novembre 1886 et 13 octobre 1886, et Thèse, 1891, p. 73.

l'hydroquinone et l'acide salicylique, qui donnent des colorations très nettes et permettent de différencier l'acide titanique d'autres acides tels que les acides niobique, tantalique, stannique, molybdique, etc.

Réactions colorées par l'eau oxygénée et par le zinc. — *Par l'eau oxygénée.* — D'après nos essais voici ce que nous avons observé :

On a préparé différentes solutions sulfuriques d'acide titanique. On a pris 10 centimètres cubes de chaque solution et 5 centimètres cubes d'eau oxygénée. On a observé :

Pour les solutions à 20 grammes d'acide titanique par litre : une coloration jaune orangé très forte ; pour les solutions à 1 gramme : jaune orangé fort ; pour les solutions à $0^{gr},500$: jaune assez fort ; pour les solutions à $0^{gr},200$: jaune clair, et pour les solutions à $0^{gr},100$: jaune très clair mais très net, et les colorations subsistent très longtemps.

Par le zinc. — Relativement aux colorations produites par le zinc on a observé ce qui suit :

Pris 10 centimètres cubes d'une solution d'acide titanique, plus 2 centimètres cubes d'acide sulfurique, plus un morceau de zinc.

Avec une solution à 20 grammes par litre, on a eu une coloration violette très intense ; avec une solution à 1 gramme par litre, on n'obtient pas la coloration immédiatement mais seulement après quelques heures, et la coloration violacée est très faible. On n'a plus de coloration avec les solutions d'acide titanique plus étendues.

La réaction du titane par l'eau oxygénée est donc bien plus sensible que celle fournie par le zinc.

Caractères microchimiques du titane. — M. E. Pozzi-Escot a indiqué comme suit les caractères microchimiques du titane :

« Les titanates fondus avec du bisulfate de potassium et traités par de l'eau oxygénée donnent avec la plus faible trace de titane une coloration rouge due à la formation d'acide pertitanique, très nette et très caractéristique.

« On peut également reconnaître le titane dans les solutions en les additionnant d'acide fluorhydrique, puis de chlorure de rubidium.

On obtient un fluotitanate de rubidium ($TiFl^4$, $2RbFl$, H^2O) en lamelles hexagonales oblongues et rectangles souvent tronquées sur les angles [1]. »

DEUXIÈME PARTIE

I. — ÉTUDE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES ACTUELLEMENT EMPLOYÉES POUR LA SÉPARATION ET LE DOSAGE DE L'ACIDE TITANIQUE, ET NOTAMMENT DANS CERTAINES SUBSTANCES : FERS, FONTES, ACIERS, MINERAIS DE FER, BAUXITES, ARGILES, ETC.

Nous donnons ci-dessous un résumé de toutes les méthodes que nous avons pu recueillir sur le dosage de l'acide titanique, soit seul, soit en présence d'autres corps, dans différents ouvrages scientifiques ou publications spéciales.

Dosage de l'acide titanique [2]. — On le pèse toujours comme tel en le séparant par l'ébullition ou par l'ammoniaque de ses solutions acides. Pour précipiter les solutions acides étendues, on les neutralise par un léger excès d'ammoniaque ; on laisse déposer le précipité qui ressemble à l'alumine, on le lave d'abord par décantation, puis sur le filtre, puis on le calcine après dessiccation.

Si le précipité renfermait de l'acide sulfurique, il faudrait faciliter le départ de cet acide par l'addition d'un peu de carbonate d'ammoniaque. L'acide calciné doit être pesé immédiatement, car il est très hygrométrique.

Il doit être parfaitement blanc après calcination. Si l'acide titanique est en solution sulfurique ou si cette solution est celle qui provient du traitement par l'eau froide de la masse obtenue par fusion d'un composé titanique avec le sulfate acide de potassium, il peut être

---

1. *Annales de chimie analytique*, 1899, p. 399.
2. *Dictionnaire* de Wurtz, t. V, p. 425.

précipité complètement par une ébullition prolongée de la liqueur très étendue. Il faut avoir soin de renouveler l'eau évaporée.

Il peut se précipiter plusieurs hydrates d'oxyde de titane ou d'acide titanique ; mais après calcination on a l'acide titanique correspondant à TiO^2 : 100 d'acide titanique = 60,04 de titane.

Dosage de l'acide titanique, d'après Frésenius. — Dans le traité de Frésenius [1], on trouve quelques détails qui en général sont d'accord avec ce qui est extrait du *Dictionnaire* de Wurtz. Mais il y a des observations importantes que nous signalons pour assurer la précipitation complète de l'acide titanique.

C'est ainsi que, dans le liquide qui a subi une *ébullition déjà prolongée,* il conseille d'ajouter de l'ammoniaque pour le neutraliser et de faire bouillir à nouveau, et de s'assurer qu'il n'y a plus de précipité.

Il conseille aussi de compléter l'essai en ajoutant de l'ammoniaque sur le liquide ayant bouilli sans précipiter ou sur le liquide filtré séparé du deuxième précipité d'acide titanique par filtration, et ce jusqu'à alcalinité franche. Faire bouillir à nouveau et voir s'il n'y a pas un précipité.

Naturellement cette addition d'ammoniaque ne peut se faire que dans une liqueur ne contenant pas d'oxydes précipitables par l'ammoniaque.

Enfin Frésenius recommande d'éviter l'emploi de l'acide chlorhydrique, qui gêne les précipitations. Si la liqueur contient de l'acide chlorhydrique libre, il faut l'éliminer par une évaporation à sec.

Généralités sur le dosage du titane [2]. — On dose généralement le titane sous forme d'acide titanique (TiO^2) qui ressemble à de la silice, mais dont il se distingue par sa solubilité dans l'acide sulfurique chaud et concentré et dans les sulfates acides.

a) Une dissolution sulfurique d'acide titanique diluée avec de l'eau et additionnée d'eau oxygénée fournit une coloration jaune orangé

1. *Analyse quantitative,* 6e édition française, p. 209.
2. L. Campredon, p. 786.

d'autant plus intense que la proportion d'acide titanique présente est plus élevée.

b) Fréquemment on sépare la silice de l'acide titanique par volatilisation du premier de ces corps par l'acide fluorhydrique qui est sans action sur le second. En cette occurrence il ne faut pas oublier d'ajouter à l'acide fluorhydrique quelques gouttes d'acide sulfurique, sans cela on volatiliserait aussi une partie de l'acide titanique ainsi que cela résulte d'essais suivants effectués par M. M. Beringer.

On a pris de 0,0352 à 0,052 d'acide titanique et on les a traités par HFl en quantités suffisantes pour volatiliser 1 gramme de silice sans et avec SO^3 :

TiO^2 pris	TiO^2 retrouvé après action de l'acide fluorhydrique	OBSERVATIONS
—	—	—
0,0466	0,0340	Sans acide sulfurique
0,0340	0,0340	Avec acide sulfurique
0,0414	0,0413	Id.
0,0520	0,0520	Id.
0,0352	0,0352	Id.

c) On peut aussi doser volumétriquement le titane en réduisant par le zinc la solution sulfurique d'acide titanique et réoxydant ensuite par le caméléon jusqu'à coloration rose persistante. Ce procédé est délicat, car le titane au minimum est très facilement peroxydable à l'air.

Dosage du titane. Méthode générale de David Forbes. — La substance à analyser est d'abord réduite en poudre fine puis placée dans un creuset de platine et additionnée d'acide sulfurique concentré de manière à former une pâte très liquide. On chauffe le creuset pendant plusieurs heures de façon à ce qu'il y ait un léger dégagement de vapeurs d'acide sulfurique, mais sans cependant faire bouillir. L'acide titanique se dissout. On laisse ensuite refroidir complètement et on verse rapidement le contenu du creuset dans une capsule contenant une grande quantité d'eau froide. On lave le creuset à l'eau froide. On filtre pour séparer les matières insolubles qui peuvent être, outre la silice, des sulfates de chaux, de baryte et

de strontiane (suivant les matières à analyser). On lave le filtre avec soin.

On neutralise presque la liqueur filtrée par la soude caustique. On ajoute quelques gouttes d'acide azotique et on fait bouillir pendant quelque temps en remplaçant l'eau au fur et à mesure qu'elle s'évapore afin de déterminer la précipitation de l'acide titanique. On laisse déposer. On filtre la liqueur. On reçoit l'acide titanique sur le filtre et on lave. On sèche, on calcine avec un peu de carbonate d'ammoniaque afin de chasser les traces d'acide sulfurique et on pèse. L'acide titanique ainsi obtenu ne doit présenter qu'une légère coloration jaunâtre. S'il était coloré en rouge ou en jaune rougeâtre par suite de la présence d'un peu d'oxyde de fer, il faudrait le refondre avec du bisulfate de soude, dissoudre la masse dans un excès d'eau froide, ajouter quelques gouttes d'acide nitrique, et précipiter l'acide titanique par une ébullition prolongée [1].

Recherches de M. L. Lévy sur les meilleures conditions à remplir pour obtenir un dosage exact de l'acide titanique. — M. Lucien Lévy a beaucoup étudié les méthodes de dosage du titane et l'examen de la pureté de l'acide titanique.

Il a soutenu une thèse sur ce sujet en 1891 et nous avons eu la bonne fortune de pouvoir lire en entier ce travail dans lequel se trouvent une foule de renseignements très intéressants.

Au point de vue du dosage du titane, M. L. Lévy a étudié l'influence de l'acide sulfurique et du sulfate de potasse, ainsi que d'autres substances sur l'exactitude du dosage du titane, et il a prouvé que si les sulfates n'avaient pas d'influence, il fallait surtout avoir une acidité régulière de la liqueur correspondant à $0^{gr},5$ pour 100 centimètres cubes en acide sulfurique.

M. L. Lévy a montré que la précipitation directe de l'acide titanique par ébullition prolongée en présence du fer donnait lieu à des résultats inexacts, une partie du fer se précipitant plus ou moins avec l'acide titanique. Mais depuis on a constaté qu'il suffisait de tenir le fer à l'état minimum pour l'empêcher de se précipiter.

---

1. Joignaux, E^n 1888, p. 362.

M. Lucien Lévy a bien voulu résumer la méthode qu'il préconise comme la meilleure pour le dosage du titane.

1° Fondre avec précaution au creuset de platine 1 gramme ou $1^{gr},500$ de bisulfate de potasse légèrement arrosé d'acide pur.

2° Y verser $0^{gr},300$ de la matière à analyser finement pulvérisée ;

3° Après fusion, dissoudre dans environ 300 centimètres cubes d'eau, neutraliser exactement par l'ammoniaque et réaciduler au moyen de l'acide sulfurique pur de façon à avoir une acidité de 5 grammes par litre ;

4° *Faire bouillir six heures*, en remplaçant l'eau évaporée pour maintenir le volume. Filtrer, laver, sécher, calciner dans un creuset de platine, peser : soit P le poids ;

5° Si l'on veut avoir l'alumine, évaporer l'eau mère en y ajoutant de l'hyposulfite de soude ;

6° Le précipité P est redissous par de l'acide sulfurique et du fluorure d'ammonium (+ environ 1 gramme d'acide sulfurique) ; bien calciner jusqu'à poids constant. Peser : la perte de poids indique la silice (p) qui s'était précipitée avec l'acide titanique ;

7° Redissoudre le précipité comme au début, y ramener le fer à l'état minimum par l'addition de sulfite de soude et en maintenant la liqueur acide. On renouvelle l'ébullition durant six heures dans les mêmes conditions et on a cette fois le précipité d'acide titanique pur (P′) et $PpP' =$ le poids d'oxyde de fer. On peut le doser dans la liqueur débarrassée d'acide titanique.

Vérification de la pureté de l'acide titanique, d'après L. Lévy. — On peut vérifier la pureté de l'acide titanique principalement au point de vue de la présence du fer.

M. L. Lévy a donné le procédé ci-après :

Dans un verre de montre bien sec placer l'acide titanique à essayer avec quelques gouttes d'acide sulfurique concentré.

Cependant, si l'acide titanique a été fortement calciné, il est préférable de le dissoudre à chaud dans l'acide sulfurique concentré et de prendre quelques gouttes de la solution ; faire tomber sur l'acide des poussières d'un phénol bien sec (le phénol ordinaire par exemple).

On a dans ce cas une coloration alizarine très forte ; s'il y a du fer, la teinte tourne au violet.

Remarque. — Éviter l'eau et l'acide nitrique.

Cette réaction est la moins sensible au point de vue de l'acide titanique, mais cela permet mieux de voir la modification de la coloration due au fer.

Dosage de l'acide titanique, d'après Fuchs [1]. — « Fuchs a proposé de doser d'une manière indirecte l'acide titanique contenu dans une solution en faisant bouillir celle-ci avec une quantité connue de cuivre métallique, à l'abri de l'air. L'acide titanique est réduit et il se dissout une quantité de cuivre correspondant à un atome pour deux molécules d'acide titanique. »

Dosage de l'acide titanique, d'après Pisani [1]. — Pisani a indiqué également un procédé de dosage de l'acide titanique par réduction de l'acide titanique :

« Dans son procédé, on réduit la solution d'acide titanique par le zinc, à l'abri de l'air ; on l'étend ensuite d'eau bouillie et on titre par une solution de permanganate la quantité d'acide titanique réduite par le zinc. »

SÉPARATION DE L'ACIDE TITANIQUE DE DIFFÉRENTES SUBSTANCES

Des différents modes de séparation du fer et de l'acide titanique

Généralités [2]. — 1° Soit en calcinant au rouge, réduisant par l'hydrogène et traitant par un acide, tel que l'acide azotique faible ;

2° Soit en formant des chlorures sensiblement neutres, ajoutant de l'acide sulfureux pour réduire le fer au minimum et portant à l'ébullition un peu prolongée à l'abri de l'air pour précipiter l'acide titanique seul ;

---

1. *Dictionnaire* de Wurtz, t. V, p. 426.
2. A. Carnot, *Traité d'analyse des substances minérales*, t. II, p. 689.

3° Soit en précipitant par le sulfhydrate l'acide titanique et le sulfure de fer et redissolvant ce dernier seul par l'acide sulfureux;

4° Soit en neutralisant la solution d'une manière imparfaite, ajoutant de l'hyposulfite de sodium à froid et, quand la réduction du sel ferrique est achevée, portant à l'ébullition pour précipiter l'acide titanique seul.

Séparation du titane et du fer (1). — « Cette séparation est difficile à effectuer d'une manière complète par l'ébullition de la solution acide. L'acide titanique en se précipitant entraîne toujours du fer dans sa précipitation. Le seul procédé qui permette d'effectuer cette séparation repose sur l'emploi de l'hyposulfite de sodium qui maintient le fer en dissolution sans empêcher la précipitation de l'acide titanique lorsqu'on fait bouillir. A cet effet on ajoute ce sel à la solution provenant de l'attaque par le sulfate acide de potassium et l'on porte à l'ébullition. L'acide titanique calciné doit être parfaitement blanc.

« S'il n'en était pas ainsi, ce qui arrive lorsqu'on a suivi une autre marche (ou que l'addition de l'hyposulfite de sodium a été insuffisante), on traite la matière colorée par le sulfate acide de potassium comme il a été dit plus haut et on sépare le fer à l'aide de l'hyposulfite. »

On a aussi recommandé de traiter l'acide titanique ferrugineux par le sulfure ammonique en excès. Par une digestion de quelques heures avec le réactif tout le fer se transforme en sulfure et l'acide titanique reste inaltéré. On étend d'eau le mélange, on lave le dépôt et on traite celui-ci par l'acide sulfureux qui dissout le sulfure de fer.

Séparation du titane et du fer, d'après J. Otis Handy (2). — Dans un mémoire de M. J. Otis Handy nous trouvons quelques indications utiles pour assurer la précipitation de l'*acide titanique* et *sa séparation de l'oxyde de fer*. Admettons que l'on ait de l'acide titanique, de l'oxyde de fer et de la silice.

---

1. *Dictionnaire* de Wurtz, t. V, p. 426.
2. *Annales de chimie analytique*, 1897, p. 91.

On fond la matière avec dix fois son poids de bisulfate de potasse, dans un creuset de platine.

La fusion est conduite exactement comme suit : on choisit un bon brûleur Bunsen protégé par une cheminée en tôle. On place sur le triangle le creuset avec une flamme longue de 4 centimètres. On augmente la chaleur graduellement de façon qu'en dix minutes le quart inférieur du creuset soit porté au rouge. On le maintient dix minutes à cette température en enlevant le couvercle toutes les deux minutes et en faisant tourner le creuset doucement, puis on augmente la flamme jusqu'à atteindre et à envelopper le sommet du creuset. Cinq minutes de ce traitement font retomber le bisulfate qui aurait pu s'élever sur les bords. La flamme est baissée et le quart inférieur du creuset est chauffé pendant dix minutes. On refroidit, on dissout dans environ 200 centimètres cubes d'eau. On filtre. (Le résidu retenu sur le filtre contient toute la silice.) Le filtrat contient tout l'acide titanique et l'oxyde de fer. On ajoute de l'ammoniaque jusqu'à léger précipité permanent, puis on le redissout avec SO^3 dilué employé en quantité juste suffisante, puis on en ajoute un excès de 1 centimètre cube. On dilue à 300 centimètres cubes. Si la solution paraît riche en fer, on fait passer un courant d'acide sulfureux, jusqu'à décoloration ; dans le cas contraire, on ajoute seulement un peu de solution d'acide sulfureux pour la réduction. On fait bouillir *pendant une heure* en ajoutant de temps à autre un peu d'acide sulfureux. On filtre l'acide titanique à travers un double filtre et on lave à l'eau chaude. On calcine et on pèse l'acide titanique. Si le précipité est jaune, il faut le refondre avec du bisulfate.

Séparation de l'acide titanique du fer, d'après M. J. Morgan [1]. — Si nous supposons un minerai de fer, on opère de la manière suivante : prendre 1 gramme de minerai, ajouter 1 gramme de phosphate d'ammoniaque dissous dans une très petite quantité d'eau, et on effectue la dissolution par digestion avec HCl ; quand celle-ci est complète, on évapore à sec dans une capsule. On redissout le résidu dans HCl dilué et le résidu insoluble est recueilli et

1. *Annales de chimie analytique*, 1897, p. 272.

lavé sur un filtre. Il renferme tout l'acide titanique à l'état de phosphotitanate de fer (Arnold). Le lavage doit se faire d'abord avec HCl dilué et chaud, puis avec de l'eau froide jusqu'à élimination complète des sels de fer.

Le filtre et son contenu sont séchés, puis calcinés dans un creuset de platine ; on mélange le produit de cette calcination avec environ dix fois son poids de carbonate de potasse. On fond et après refroidissement on traite par l'eau bouillante ; on recueille le résidu insoluble et on le lave complètement à l'eau chaude. Le filtre et son contenu sont séchés, calcinés, puis le résidu mélangé avec environ six fois son poids de bisulfate de potassium ; on fond au-dessous du rouge en maintenant à cette température pendant une demi-heure. Le produit de la fusion après refroidissement est traité par 10 centimètres cubes de HCl et 50 centimètres cubes d'acide sulfureux. On filtre et on lave à l'eau chaude. Le filtratum est dilué ; on y ajoute 20 grammes d'acétate de soude en solution et un sixième de son volume d'acide acétique cristallisable. On porte à l'ébullition pendant quelques minutes. Le précipité obtenu dans ces conditions est filtré, lavé avec de l'eau contenant quelque peu d'acide acétique. On le sèche, on calcine et on pèse : c'est de l'acide titanique absolument pur.

Séparation de l'acide titanique de la silice [1]. — « Il arrive quelquefois que l'acide titanique précipité est mélangé de silice. Pour l'en séparer on le traite par l'acide sulfurique concentré et chaud qui dissout l'acide titanique. Après refroidissement on verse le tout dans l'eau en empêchant la température de s'élever ; on filtre pour séparer la silice et on porte la solution à l'ébullition pour précipiter l'acide titanique.

« On soumet au besoin la silice à un second traitement semblable. »

On peut aussi se débarrasser de la silice en attaquant par l'acide sulfurique en présence d'acide fluorhydrique. Toute la silice est transformée en fluorure de silicium qui se volatilise (Scheurer).

---

1. *Dictionnaire* de Wurtz, t. V, p. 426.

Séparation de l'acide titanique et de la silice des bases par l'acide formique, d'après LECLÈRE [1]. — « D'après M. Leclère, l'acide titanique et l'acide silicique peuvent être facilement isolés des bases (sesquioxydes et protoxydes) si, après fusion avec du carbonate de soude (ou de l'oxyde de plomb) en vue de rendre la matière attaquable par les acides, on traite la masse par de l'eau chaude et par une quantité d'acide formique telle que les bases une fois saturées il reste environ 5 °/₀ d'acide formique libre. On laisse pendant deux jours à la température de 100°. »

Séparation de l'acide titanique de l'alumine [2]. — « La solution sulfurique est étendue d'eau et soumise à une ébullition prolongée. L'acide titanique se précipite et l'alumine reste entièrement dissoute.

« Dans quelques cas on peut faciliter la préparation de l'acide titanique par l'addition d'ammoniaque lorsque celle-ci ne précipite pas l'oxyde métallique, ou qu'elle peut le redissoudre après l'avoir précipité. »

Dosage de l'acide titanique dans les minerais de fer. — De l'ouvrage de M. L. Campredon [3] nous extrayons les notes ci-après :

Dosage du titane. Principe. — Séparer le titane sous forme de phosphotitanate de fer qui est fondu avec le carbonate de potasse de manière à obtenir un trititanate de potasse insoluble lequel est séparé des phosphates et de l'alumine, qui se dissolvent. Le titanate est désagrégé par le sulfate acide de potasse et finalement on sépare l'acide titanique par une ébullition prolongée.

Mode opératoire. — Prendre 6 grammes de minerai que l'on met dans une capsule de porcelaine. On ajoute 10 centimètres cubes d'une solution de phosphate d'ammoniaque [4] à 10 °/₀ et 60 centimètres

---

1. *Traité d'analyse des substances minérales*, par A. Carnot, 1904, p. 687.

2. *Dictionnaire* de Wurtz, t. V, p. 426.

3. *Dosage du titane dans le fer, etc.*, p. 511.

4. L'addition de phosphate d'ammoniaque a pour but de transformer en phosphotitanate de fer insoluble la totalité du titane de telle sorte que la liqueur ferrique en est exempte. Cette manière de procéder facilite grandement l'analyse.

cubes d'acide chlorhydrique pur. On évapore à sec et on chauffe assez fortement, puis on reprend par l'acide chlorhydrique et on filtre pour séparer le résidu siliceux insoluble contenant le phosphotitanate de fer. Le résidu est desséché, calciné et fondu dans une capsule de platine avec 10 grammes de carbonate de potasse ; on maintient la masse en fusion tranquille pendant dix minutes, puis on laisse refroidir et on reprend par l'eau chaude qui dissout le phosphate et l'aluminate de potassium et laisse du trititanate de potasse et de l'oxyde de fer insolubles. Ceux-ci sont recueillis sur filtre, lavés, calcinés et fondus dans un creuset de platine avec 3 grammes de sulfate acide de potasse qui fournit du sulfate de titane et du sulfate de fer. S'il restait un peu de silice, elle demeure insoluble. On reprend avec 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique fort et 50 centimètres cubes d'acide sulfureux en solution saturée ; on chauffe doucement, on verse dans un ballon de 120 centimètres cubes, on complète le volume et on filtre sur un papier sec. Tout le fer doit se trouver au minimum d'oxydation. On prend 100 centimètres cubes de la liqueur filtrée (correspondant à 5 grammes de minerai), on les verse dans un ballon de 1 litre, on étend avec 500 ou 600 centimètres cubes d'eau bouillante et on chauffe à l'ébullition de manière à réduire le volume de la liqueur à 250 centimètres cubes environ. Dans ces conditions l'acide titanique se sépare et on le recueille sur un filtre sans cendres. On le pèse après calcination. $TiO^2 \times 0,60 = Ti$.

Remarques. — I. L'exactitude de la méthode ci-dessus indiquée par Arnold n'est pas à l'abri de tout reproche ; elle présente l'avantage d'être relativement simple et de permettre la concentration du titane dans le résidu insoluble.

II. A propos du dosage du titane dans les fontes et aciers, nous examinerons la méthode préconisée par Ledebur, au cours de laquelle on sépare la majeure partie du fer de la solution ferrique au moyen de l'éther, suivant les indications de Rothe.

III. Si l'on se propose de doser isolément le titane dans un minerai, on pourra suivre la méthode suivante : placer de 1 à 5 grammes de minerai dans une nacelle de porcelaine que l'on introduit dans

un tube de porcelaine chauffé au rouge, et traversé par un courant d'hydrogène sec. L'oxyde de fer est réduit avec production de fer métallique ; après réduction, la matière est traitée par l'acide sulfurique dilué qui dissout le fer et laisse comme résidu la matière siliceuse et l'acide titanique. Le résidu est filtré, lavé, calciné, fondu avec un excès de sulfate de potasse acide et on continue comme dans la méthode ci-dessus décrite.

IV. On peut évaluer colorimétriquement la proportion de titane en ajoutant quelques gouttes d'eau oxygénée à la solution sulfurique de l'acide titanique. On obtient de la sorte une coloration jaune orangé d'autant plus intense que la quantité d'acide titanique est plus élevée.

Pour divers dosages du titane, M. L. Campredon recommande aussi l'ébullition prolongée en général durant au moins trois quarts d'heure, et quand on doit séparer le fer, en le maintenant soluble à l'aide d'acide sulfureux, d'ajouter de cet acide de temps en temps pour bien maintenir en dissolution le fer à l'état de sulfate de protoxyde de fer (pages 241-262).

Dosage du titane dans les fers, aciers, fontes [1]. — Deux méthodes :

« 1° *Dosage en présence de la totalité du fer*, d'après Arnold. — A cet effet on opère sur $1^{gr},2$, $2^{gr},4$ ou 6 grammes auxquels on ajoute $0^{gr},500$ de phosphate d'ammoniaque ; on dissout au moyen de 30 à 60 centimètres cubes d'acide nitrique de densité de 1,20 et on évapore à sec. On reprend par HCl et on évapore de nouveau à sec. On reprend par HCl et de l'eau en excès, puis on filtre pour séparer SiO^2, le graphite et le phosphotitanate de fer. Le filtrat est exempt de titane. On sèche et on calcine le résidu qui est fondu avec 10 grammes de carbonate de potasse, puis on reprend par l'eau et on filtre. Le résidu est séché, calciné et fondu avec du sulfate acide de potasse et on reprend par HCl. On ajoute 50 centimètres cubes

1. Extrait de l'ouvrage de M. Campredon intitulé : *Guide du chimiste métallurgique et de l'essayeur*, p. 620.

d'acide sulfureux en dissolution aqueuse, puis on maintient à une douce chaleur.

« La silice reste insoluble. On fait 120 centimètres cubes dont on prélève 100 centimètres cubes (= 1, 2 ou 5 grammes de matière) par filtration partielle. On introduit dans un grand gobelet, on étend à 1 litre et on fait bouillir jusqu'à réduction du volume à 250 centimètres cubes. Il se forme de l'acide métatitanique qu'on laisse déposer: filtrer, calciner et peser comme acide titanique. $TiO^2 \times 0,60 = Ti$.

« 2° *Dosage du titane après élimination de la presque totalité du fer*, d'après M. Ledebur. — On opère sur 5 à 10 grammes de métal que l'on dissout dans l'acide nitrique, on évapore à sec et l'on reprend par l'acide chlorhydrique. Filtrer pour séparer la silice plus le graphite. Le résidu est exempt d'acide titanique qui passe entièrement dans la liqueur. Cette dernière est concentrée et épuisée en une ou plusieurs fois avec de l'éther. La solution aqueuse retient le titane sous forme de chlorure, il suffit d'évaporer à sec pour insolubiliser l'acide titanique. On humecte avec HCl, on étend avec de l'eau et on filtre l'acide titanique qui est séché, calciné et pesé.

« A titre de précaution on pourra désagréger le résidu siliceux avec du carbonate de potasse afin de rechercher l'acide titanique en suivant la méthode indiquée par M. Arnold et décrite ci-dessus.

Dosage du titane dans les fers et aciers, d'après M. G. Waterhouse. — Cette méthode peut s'appliquer à la séparation du titane d'avec le fer [1].

Admettons que l'on ait la solution des bisulfates amenée à un volume de 150 centimètres cubes.

« On ajoute à ce liquide de l'ammoniaque diluée jusqu'à ce qu'on obtienne un précipité permanent qu'on redissout en ajoutant quelques gouttes d'HCl; on ajoute avec précaution et très lentement 50 centimètres cubes d'une solution de sulfite de soude à 20 % et

1. *Annales de chimie analytique*, 1902, p. 391.

l'on porte à l'ébullition. On l'additionne de 50 centimètres cubes d'acide acétique cristallisable préalablement chauffé et de 20 grammes d'acétate de soude, et l'on fait bouillir le tout très vivement durant cinquante minutes (en maintenant le volume par addition d'eau bouillante). Le précipité est recueilli, lavé et calciné.

« L'oxyde obtenu est fondu pendant quelques minutes avec 10 grammes de carbonate de soude pur. Après refroidissement, le produit est traité par 150 centimètres cubes d'eau chaude, le précipité est bien lavé et redissous dans un peu de HCl. On ajoute 10 centimètres cubes d'acide sulfurique dilué et la solution est évaporée jusqu'à l'apparition de fumées de SO^4H^2. On laisse refroidir et l'on dilue à 50 centimètres cubes, puis on filtre. »

Le filtratum est amené à 150 centimètres cubes, rendu légèrement alcalin par de l'ammoniaque, et rendu très légèrement acide par un peu d'HCl ; ajouter 20 centimètres cubes d'une solution de sulfate de soude, porter à l'ébullition et ajouter encore de l'acide acétique cristallisable et de l'acétate de soude comme il a été dit une première fois. Porter à l'ébullition, maintenir cinquante minutes. Le précipité recueilli sur filtre, bien lavé et calciné, est pesé comme TiO^2. Cette méthode a donné d'excellents résultats, d'après l'auteur, sur des mélanges connus.

Dosage du titane dans la bauxite (1). — Prendre 1gr,500 de matière finement pulvérisée préalablement desséchée à 100° et conservée à l'abri de l'humidité.

Dissoudre dans une capsule de porcelaine au moyen de 50 centimètres cubes d'un mélange d'acides composé comme suit :

100 centimètres cubes d'acide azotique pur (densité, 1,42) ;

300 centimètres cubes d'acide chlorhydrique (densité, 1,20) ;

600 centimètres cubes d'acide sulfurique à 25 °/₀.

On chauffe doucement jusqu'à formation des fumées blanches qu'on laisse dégager pendant quinze minutes environ. Après refroidissement, on reprend avec 100 centimètres cubes d'eau et on fait bouillir dix minutes. On filtre, on lave à l'eau en recevant les liquides

1. L. Campredon, p. 261.

dont le volume ne doit pas dépasser 200 centimètres cubes dans un gobelet de 300 centimètres cubes.

Le résidu est séché, calciné et pesé. Il consiste principalement en silice mélangée de traces d'acide titanique, d'oxyde de fer et d'alumine.

On volatilise la silice au moyen de trois gouttes d'acide sulfurique et de 5 centimètres cubes d'acide fluorhydrique dans une capsule ou un creuset de platine ; la perte de poids représente la silice.

Le résidu de la volatilisation est fondu avec 1 gramme de bisulfate de potasse ; on reprend par l'eau et l'on filtre, s'il y a lieu, pour séparer un peu de silice que l'on pèse et dont on ajoute le poids au premier chiffre obtenu. On joint la liqueur filtrée à la première et cette dissolution contient alors la totalité de l'acide titanique, de l'oxyde de fer et de l'alumine.

TiO^2, Fe^2O^3, Al^2O^3. — On parfait à 300 centimètres cubes le volume de la liqueur filtrée et on prend 100 centimètres cubes $= 0^{gr},500$ de bauxite. La prise d'essai est diluée à 300 centimètres cubes environ et additionnée de quelques centimètres cubes d'acide chlorhydrique fort et d'un excès d'ammoniaque ; on fait bouillir pendant cinq minutes et on recueille sur un filtre le précipité d'acide titanique, de peroxyde de fer et d'alumine qui est lavé, séché, calciné et pesé.

TiO^2. — Prendre 100 centimètres cubes de liqueur $= 0^{gr},500$ de bauxite, diluer à 400 centimètres cubes environ avec de l'eau, neutraliser exactement par de l'ammoniaque et acidifier légèrement par addition de 1 centimètre cube d'acide sulfurique à 25 °/₀. Puis on réduit le fer au minimum d'oxydation en ajoutant 20 à 30 centimètres cubes d'une solution aqueuse d'acide sulfureux et on fait bouillir pendant une heure en remplaçant l'eau au fur et à mesure qu'elle s'évapore.

De cette façon l'acide titanique se sépare sous forme de flocons blancs, qui sont filtrés, lavés, calcinés et pesés.

Fe^2O^3. — Prendre 100 centimètres cubes de liqueur $= 0^{gr},500$ de bauxite et ajouter 10 centimètres cubes d'acide sulfurique à 25 °/₀ et 1 gramme de zinc en poudre. Après réduction du fer au minimum, on titre au permanganate, etc.

Dosage du titane dans la bauxite, d'après J. Zamaron [1]. — Dans une étude sur l'analyse des bauxites, M. J. Zamaron indique la méthode générale de dosage du titane, c'est-à-dire :

1° En séparant le titane précipité à l'état d'acide titanique d'avec la silice, au moyen du fluorure d'ammonium, et l'acide sulfurique. On a l'acide titanique par résidu ;

2° En fondant la masse avec du sulfate acide d'ammoniaque et en suivant la marche ordinaire de précipitation de l'acide titanique par ébullition prolongée.

Mais il y a aussi du titane en solution chlorhydrique avec l'alumine, le fer, etc.

Si on traite par l'ammoniaque, on a le fer, l'alumine et l'acide titanique.

Pour la séparation on fait fondre le précipité d'acide titanique, de fer et d'alumine avec du bisulfate d'ammonium ou de sodium, on dissout la masse dans l'eau froide, on neutralise par du carbonate de soude et on étend d'eau de façon à avoir au plus $0^{gr},1$ des oxydes dans 50 centimètres cubes. On ajoute alors à froid dans la solution un léger excès d'hyposulfite de soude ; on attend que le liquide, d'abord violet, soit complètement décoloré et que tout le peroxyde de fer soit ramené à l'état de protoxyde. Chauffer à l'ébullition jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'acide sulfureux. Filtrer et laver le précipité à l'eau bouillante. On a ainsi l'alumine et l'acide titanique ensemble : après calcination on reprend par l'acide sulfurique ou les bisulfates pour redissoudre le tout et précipiter l'acide titanique par ébullition prolongée dans les conditions ordinaires.

Dosage du titane dans les produits réfractaires. — Pour le dosage de l'acide titanique dans les produits réfractaires, ce qui a beaucoup d'analogie avec le dosage du même élément dans la terre, on retrouve l'acide titanique : 1° en partie avec la silice ; 2° en partie avec le précipité de fer et d'alumine.

On doit donc :

1° Vérifier la pureté de la silice obtenue en la traitant par du

1. *Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie*, n° 7, janvier 1898, p. 718.

fluorure d'ammonium *en présence d'acide sulfurique*, et, s'il y a un résidu, le conserver ;

2° Recueillir le précipité obtenu avec l'ammoniaque qui contient le fer, l'alumine et quelques autres substances ainsi que le titane. Laver et calciner et l'ajouter au résidu laissé par la silice.

Ce mélange est traité par du carbonate de soude et on suit alors le procédé Arnold d'après les indications de M. J. Morgan pour séparer l'acide titanique du fer et autres impuretés ([1]).

En fondant le tout avec le carbonate de soude, on élimine l'alumine sous forme d'aluminate de sodium, et l'acide titanique resté sous forme de titanate de sodium insoluble. Ce titanate de sodium est accompagné de l'oxyde de fer et le mélange traité par le bisulfate de potasse comme dans toutes les méthodes permet de doser l'acide titanique en présence du fer dans une liqueur contenant de l'acide sulfureux.

Dosage du titane dans le minerai de titane. Analyse du rutile (minerai de titane) [[2]]. — Le minerai en poudre impalpable est facilement attaqué au creuset de platine par du bisulfate d'ammoniaque ou par un mélange de sulfate d'ammoniaque et d'acide sulfurique. Si la désagrégation a été complète, toute la masse fondue se dissout dans l'eau. Dans le cas où il resterait un résidu, on le soumettrait à une nouvelle fusion, à moins que le résidu ne soit de la silice ou un silicate qui ne peut entrer en dissolution.

La solution aqueuse est portée à l'ébullition et on y ajoute de l'hyposulfite de soude qui précipite l'acide titanique tandis que le fer reste en dissolution. On recueille le précipité qui est séché, calciné et pesé. C'est de l'acide titanique, TiO^2.

Application de l'eau oxygénée au dosage du titane dans quelques composés (méthode Weller). — M. le Dr von Lippmann a bien voulu nous signaler la méthode colorimétrique de Weller pour le dosage du titane dans les résidus du raffinage des salins de sucra-

1. L. Campredon, p. 232.
2. L. Campredon, p. 786.

terie. Voici cette méthode, telle qu'elle a été décrite dans l'ouvrage de Lunge [1] :

« M. A. Weller a étudié, dans le laboratoire de Bunsen, une méthode simple pour la recherche de l'acide titanique par procédé colorimétrique. Elle repose sur la propriété qu'a l'eau oxygénée de colorer les solutions d'acide titanique en jaune orangé, solutions contenant un dixième de milligramme par centimètre cube et très sensible encore lorsque la dose est d'un cinquantième de milligramme. L'acide vanadique et l'acide molybdique donnant la même réaction sont à rechercher.

« On opère dans les meilleures conditions en comparant avec des solutions contenant pour 100 centimètres cubes 5 à 10 milligrammes, et pour 1 centimètre cube $0^{mgr},1$ à $0^{mgr},05$ d'acide titanique. De petites quantités de fer ne gênent pas, de même que l'acide sulfurique quand il n'y en a pas plus de 10 %. Autrement la coloration de la solution normale disparaît avec le temps. »

Pour l'application de la méthode, Lunge dit qu'il faut :

1° Préparer la solution de telle sorte qu'elle ne renferme pas plus de 1 milligramme d'acide titanique par centimètre cube ;

2° On additionne une quantité mesurée de cette solution de son volume d'eau oxygénée. On a une coloration jaune orange plus ou moins intense. En préparant une solution type d'acide titanique sur la base de 1 milligramme par centimètre cube on a le moyen de doser rapidement de petites quantités d'acide titanique par la méthode colorimétrique.

C'est ce que nos nouveaux essais ont pleinement confirmé, comme on le verra.

Séparation du titane d'avec le fer par l'eau oxygénée, d'après M. P. H. Walker [2]. — La solution légèrement acide et froide du mélange des sulfates occupant un volume d'environ 150 centimètres cubes est mélangée avec 100 centimètres cubes d'eau oxygénée à dix volumes. On verse très lentement dans ce mélange une solution com-

---

1. *Chemisch-technische Untersuchungs-Methoden*. Berlin. t. I, p. 510, et t. II, p. 56.
2. *Annales de chimie analytique*, 1900, p. 25.

posée de : eau oxygénée, 100 centimètres cubes ; ammoniaque concentrée, 30 centimètres cubes ; on agite continuellement. L'oxyde ferrique se précipite, on le filtre et on le lave avec une solution diluée d'ammoniaque contenant une petite quantité d'eau oxygénée. Le précipité est redissous sur le filtre par un mélange d'acide chlorhydrique pur et d'eau oxygénée. La solution obtenue est reprécipitée comme précédemment. On recommencera une troisième fois la même opération ; après quoi l'hydrate ferrique peut être dissous et le fer déterminé par la méthode habituelle. Les filtrats contiennent tout le titane, on les fait bouillir et l'hydrate d'oxyde de titane $Ti(OH)^4$ qui se précipite est filtré et lavé avec une solution chaude de nitrate d'ammoniaque séché, calciné et pesé à l'état de TiO^2.

Un mélange contenant de l'acide titanique fondu avec du bisulfate de potasse et additionné d'alun de fer ammoniacal a donné les résultats suivants par la méthode précédente :

Acide titanique :	après première séparation	$0^{gr},0872$
—	après deuxième séparation.	0 ,0104
—	après troisième séparation.	0 ,0041
	TiO^2 total trouvé	$0^{gr},1017$
	TiO^2 employé	0 ,1016

Détermination volumétrique du fer et de l'acide titanique au moyen du permanganate de potasse (1). — MM. H. L. Wells et W. L. Mitchell ont indiqué une méthode de dosage du fer et de l'acide titanique au moyen du permanganate de potasse.

On procède ainsi :

1° La solution sulfurique est évaporée jusqu'à apparition des fumées blanches et on étend la liqueur à 1 litre.

2° Sur un volume connu, on réduit le fer au minimum par l'hydrogène sulfuré, on chasse le gaz en excès par l'ébullition et on dose le fer par le permanganate.

3° Une autre partie de la liqueur est additionnée d'acide sulfurique (25 centimètres cubes) plus du zinc pur en morceaux. On chauffe trois quarts d'heure. Le fer et l'acide titanique sont réduits. On laisse

1. *Revue de chimie analytique,* 1897, p. 6.

refroidir dans un courant d'acide carbonique. On titre le fer et le titane par le permanganate.

La différence entre les deux titres correspond à l'acide titanique.

Séparation des acides titanique et molybdique [1]. — MM. Ruegenberg et E. Smith ont indiqué une méthode de séparation de ces deux acides basée sur ce que c'est l'*acide sulfurique ayant une densité de 1,378* qui convient le mieux pour dissoudre tout l'acide titanique sans toucher à l'acide molybdique.

Pour 1 gramme de matière on doit employer 25 centimètres cubes d'acide sulfurique et traiter à chaud durant deux minutes.

Séparation du tungstène de l'acide titanique, d'après M. Defacqz [2]. — On traite la matière par huit fois son poids d'un mélange de huit parties d'azotate de potasse pur et de deux parties de carbonate de potasse pur. Chauffer au rouge sombre en creuset de platine durant vingt à trente minutes. La masse est reprise par l'eau, on lave par décantation et on termine les lavages par une solution étendue d'azotate d'ammoniaque pour avoir les liquides clairs. Le résidu resté sur le filtre est calciné. Il contient tout l'*acide titanique* qu'on traite ensuite par les méthodes connues pour le doser.

II. — ESSAIS NOUVEAUX SUR LE DOSAGE DE L'ACIDE TITANIQUE

(De MM. H. Pellet et Ch. Fribourg)

Au point de vue des nouveaux essais de dosage que nous avons effectués, nous parlerons d'abord de vérification de la séparation de la silice et de l'acide titanique par l'acide fluorhydrique, puis des méthodes de dosage proprement dites que nous diviserons en :

1° Méthodes colorimétriques ;

2° Méthodes pondérales.

---

1. *Annales de chimie analytique,* 1901, p. 185.

2. Defacqz, *Comptes rendus,* novembre 1896, p. 823 ; *Annales de chimie analytique,* 1897, p. 10.

Expériences sur la séparation de l'acide titanique et de la silice, par MM. H. Pellet et Ch. Fribourg. — A propos de la séparation de la silice et de l'acide titanique nous avons fait de nouveaux essais. Voici ce que nous avons trouvé :

Disons d'abord que nous avons employé dans nos essais un acide titanique qui contenait 21, 21 °/₀ d'eau et 78, 79 °/₀ d'acide titanique TiO^2.

Premier essai. — On a pris 1 gramme d'acide titanique qu'on a traité par 10 centimètres cubes d'acide fluorhydrique. Attaque assez vive et dissolution complète. Mis à digérer et à évaporer à une douce chaleur. On a eu un résidu sec cristallin, puis, en chauffant un peu plus fort, dégagement de fumées blanches (acide fluorhydrique et fluorure de titane). Enfin transformation en acide titanique.

Nous avons eu une perte de poids de $0^{gr},385$, ce qui est beaucoup plus que les 21, 21 °/₀ d'eau contenue.

Deuxième essai. — On a calculé que le fluorure correspondant à 0,7879 de TiO^2 réel ($TiFl^4$) représente $1^{gr},203$ de fluorure. On a refait un essai en évaporant doucement à sec, mais sans avoir les fumées blanches.

On a pesé $1^{gr},262$ de fluorure (ce qui correspond bien à la théorie).

Troisième essai. — On a mis $0^{gr},997$ d'acide titanique brut, plus 5 centimètres cubes d'acide fluorhydrique, plus 5 centimètres cubes d'eau. Dissolution rapide. Ajouté trente gouttes d'acide sulfurique concentré. On a évaporé et on a obtenu un produit cristallin blanc nacré. En chauffant au rouge jusqu'à poids constant, on a trouvé qu'il restait 79 °/₀ du poids primitif en acide titanique pur, ce qui est sensiblement le chiffre calculé d'après le premier essai direct.

Ce résidu se dissout facilement dans l'acide sulfurique concentré chaud. Si l'acide n'est pas assez concentré, il faut chauffer pour concentrer, et on arrive ainsi à la dissolution complète.

En résumé, ces essais confirment ce qui est dit dans les traités d'analyse et aussi dans Wurtz [1] que par simple évaporation avec de

1. T. V, p. 418, 426.

l'acide fluorhydrique il y a perte d'acide titanique; mais d'après nos essais cette perte n'a lieu qu'à la décomposition du fluorure. L'addition d'acide sulfurique, au contraire, empêche toute perte d'acide titanique. C'est également ce qu'ont signalé divers auteurs.

Pour des essais avec mélange de silice et acide titanique, nous avons employé une silice contenant :

Perte au feu.	0,55 %
Résidu après attaque à l'acide fluorhydrique . . .	3,80

Mélangé 1 gramme de silice plus 1 gramme d'acide titanique plus 5 à 8 centimètres cubes d'acide fluorhydrique. Il y a eu un dégagement de chaleur, puis dissolution complète. On a ajouté ensuite trente-cinq gouttes d'acide sulfurique concentré.

Évaporation, calcination.

Il est resté $0^{gr},800$ de résidu (acide titanique + impuretés de la silice) au lieu de $0^{gr},820$ qu'on aurait dû trouver, mais cette différence est très faible.

MÉTHODES DE DOSAGE PROPREMENT DITES

Méthodes colorimétriques

Généralités. — L'acide titanique en solution sulfurique, ainsi que nous l'avons déjà dit au commencement de ce mémoire, donne deux réactions colorées très caractéristiques :

1° Avec l'eau oxygénée;

2° Avec le zinc métallique,

la première étant de beaucoup plus intense que la seconde.

Nous avons donc pensé à établir une méthode colorimétrique basée sur la réaction à l'eau oxygénée, et pour pouvoir comparer les colorations obtenues, nous nous sommes servis du colorimètre Josse [1], construit en vue de la comparaison des différents produits que l'on rencontre en sucrerie, et basé sur une unité colorante dénommée la colorie.

1. Le colorimètre Josse est construit par la maison Jobin, rue de l'Odéon, à Paris.

Il se trouve également que la réaction fournie par l'eau oxygénée, agissant sur les solutions d'acide titanique, donne une coloration que l'on peut parfaitement déterminer au colorimètre Josse, vu l'analogie des teintes.

Notre méthode colorimétrique pour le dosage du titane est donc analogue à celle de Weller ; mais nous avons étudié en même temps la meilleure marche à suivre pour obtenir le titane en solution convenable, puis les meilleures conditions à remplir pour avoir une coloration toujours proportionnelle à la dose de titane, et enfin nous avons indiqué l'emploi d'un colorimètre spécial qui permet d'exprimer les colorations en unités de couleur, c'est-à-dire en colories.

Préparation de solutions d'acide titanique pur. — Comme nous l'avons dit plus haut, la réaction se fait généralement avec une solution sulfurique d'acide titanique ; mais, comme on le verra par la suite, on peut avoir également une solution d'acide titanique dans le bisulfate de potassium.

Nous avons donc préparé des solutions sulfuriques et également des solutions bisulfatées, et nous avons déterminé les quantités d'acide ou de bisulfate nécessaires pour obtenir des solutions qui, étendues, ne laissent pas reprécipiter d'acide titanique.

Pour la solution sulfurique nous avons pris $6^{gr},250$ d'acide titanique à 80 °/₀, c'est-à-dire 5 grammes de TiO^2 pur que nous avons additionné de 50 centimètres cubes d'acide sulfurique pur à 66° et chauffé le tout dans une capsule de porcelaine à dissolution parfaite. Après refroidissement, verser doucement le mélange sulfurique dans une fiole de 500 centimètres cubes contenant de l'eau distillée et compléter.

Cette solution contient donc environ 200 grammes d'acide sulfurique pour 10 grammes de TiO^2 ou 2 grammes pour $0^{gr},100$ de TiO^2.

Cette solution étendue au dixième par addition d'eau donne donc une solution à 1 gramme pour cent de TiO^2 qui reste parfaitement claire.

Pour la solution bisulfatée nous avons opéré comme suit pour faire une solution à 1 gramme par litre. (Pour faire une solution à

10 grammes par litre, il faudrait une quantité beaucoup trop forte de bisulfate de potasse.)

Prendre $0^{gr},500$ TiO^2 réel et le fondre avec 25 grammes de bisulfate de potasse (que l'on prépare soi-même comme nous dirons plus loin) sans trop chauffer pour ne pas décomposer le bisulfate.

Reprendre après refroidissement par 150 centimètres cubes d'eau distillée chaude (40 à 50° au maximum) dans un verre de Bohème. La dissolution se fait en une demi-heure. Après refroidissement, compléter à 500 centimètres cubes.

Il faut surtout avoir soin de ne pas dépasser la température de 60° quand on fait la dissolution, autrement l'acide titanique commence à précipiter.

Préparation du bisulfate de potasse pur. — Nous avons remarqué que le bisulfate que l'on trouve dans le commerce, même vendu comme pur, ne répond pas toujours à la formule théorique et que souvent il contient trop peu d'acide libre. C'est-à-dire que c'est un mélange de sulfate neutre et de bisulfate.

Comme point de départ nous choisissons le carbonate de potasse que l'on se procure aujourd'hui à un parfait état de pureté et de siccité.

Voici les formules de préparation :

$$\underset{138}{CO^3K^2} + \underset{2\times98}{2SO^4H^2} = \underset{272}{2SO^4KH} + CO^2 + H^2O$$

ou en doublant

$$276 \qquad 2 \text{ fois } 196 \qquad 544$$

Faire un essai préliminaire du carbonate de potasse au point de vue de l'eau qu'il peut contenir (en en fondant 1 gramme environ au creuset de platine). On trouve 5 à 6 % de perte. Prendre 290 à 295 grammes de ce carbonate de potasse et les mettre dans une capsule de 1 500 centimètres cubes avec 300 centimètres cubes d'eau.

Diluer d'autre part 200 grammes d'acide pur à 66° avec 300 centimètres cubes d'eau et les verser lentement dans la solution de

carbonate en agitant, et de façon à être neutre au papier de tournesol, après quelques minutes d'ébullition et une bonne agitation.

Le sulfate neutre se précipite en grande partie, étant peu soluble. L'eau mère séparée est évaporée à sec, puis on dessèche le tout complètement par calcination dans du platine.

On obtient ainsi environ 345 à 350 grammes de sulfate de potasse neutre et sec. (On peut également se procurer du sulfate de potasse neutre et pur.)

Il faut, pour le transformer en bisulfate, lui ajouter 200 grammes d'acide pur à 66°.

On met dans une capsule de platine 70 grammes du sulfate neutre, puis 40 grammes d'acide à 66° et on chauffe doucement jusqu'à avoir un liquide blanc et commençant à dégager un peu de vapeurs sulfuriques. Laisser refroidir, pulvériser et flaconner.

Essais en vue de voir la quantité d'eau oxygénée nécessaire pour une quantité déterminée de TiO^2. — L'eau oxygénée dont nous nous sommes servis dans tous nos essais est l'eau oxygénée à douze volumes.

Nous avons pris 10 centimètres cubes d'une solution sulfurique de TiO^2 à un millième, c'est-à-dire contenant donc $0^{gr},010$ de TiO^2, et nous avons ajouté goutte à goutte de l'eau oxygénée jusqu'à arriver au maximum de coloration. Il en a fallu 2 centimètres cubes, c'est-à-dire que 5 centimètres cubes d'eau oxygénée sont suffisants pour oxyder $0^{gr},025$ de TiO^2.

Pratique de la méthode colorimétrique. — Nous prenons en général 10 centimètres cubes de la solution titanique (ces 10 centimètres cubes devant renfermer 1 centimètre cube d'acide sulfurique pur) et 5 centimètres cubes d'eau oxygénée.

La coloration ainsi obtenue est d'environ 600 à 700 colories pour les solutions à 1 gramme de TiO^2 par litre et 60 à 70 colories pour les solutions à $0^{gr},100$ de TiO^2 par litre.

Pour lire au colorimètre Josse dans les meilleures conditions, il est intéressant d'avoir des colorations inférieures à 40 colories.

Donc, avec une solution contenant environ 1 gramme de TiO^2 par litre, on prendra pour faire la réaction :

Solution titanique	1	centimètre cube
Acide sulfurique pur	1	—
Eau distillée	8	—
Total	10	centimètres cubes
Eau oxygénée	5	—

et on doublera par addition de 15 centimètres cubes d'eau distillée, pour avoir environ 30 à 35 colories.

Pour une solution contenant $0^{gr},100$ de TiO^2, on prendra 10 centimètres cubes avec 5 centimètres cubes de H^2O^2 et on doublera le volume avec de l'eau.

Pour une solution contenant $0^{gr},050$ de TiO^2 on prendra 10 centimètres cubes avec 5 centimètres cubes de H^2O^2 et on pourra examiner directement au colorimètre.

Essai de la méthode colorimétrique en présence d'autres bases. — Dans notre étude nous avions en vue la recherche de l'acide titanique dans les sols et cendres de végétaux. Nous avons donc voulu voir ce que donneraient avec l'eau oxygénée les autres bases contenues dans ces produits et pouvant peut-être influer sur la coloration.

Nos essais ont porté sur l'oxyde de fer et l'alumine, et nous avons ainsi pu prouver que ces bases n'influent en rien dans la méthode à l'eau oxygénée, à condition toutefois d'être en solution sulfurique.

Nous avons préparé les solutions suivantes :

a) *Solution ferrique.* — $0^{gr},100$ de Fe^2O^3 pur fondu avec 5 grammes de bisulfate de potasse. Repris par 5 centimètres cubes de SO^4H^2 pur, fait 100 centimètres cubes.

b) *Solution d'alumine.* — $0^{gr},500$ de sulfate d'alumine (représentant donc environ $0^{gr},100$ d'alumine) fondu avec 5 grammes de bisulfate de potasse. Repris par 5 centimètres cubes de SO^4H^2 pur, fait 100 centimètres cubes.

En prenant 10 centimètres cubes de ces solutions avec 5 centimètres cubes d'eau oxygénée, on n'obtient aucune coloration.

D'autre part, en additionnant à une solution d'acide titanique un peu de ces solutions soit fer, soit alumine, on trouve finalement la coloration due exclusivement à l'acide titanique comme s'il était seul.

En résumé, la méthode colorimétrique à l'H^2O^2 est une méthode qui permettra donc, dans le cas général des sols et des cendres de végétaux, de doser directement le TiO^2, puisque les corps autres que le TiO^2 qui y sont contenus n'influent pas sur l'eau oxygénée.

Essais sur la réaction colorée fournie par réduction avec le zinc. — Comme nous l'avons déjà dit, il n'y a que les solutions d'une certaine concentration qui donnent la réaction violette par réduction avec le zinc.

Les solutions à 20 grammes, 10 grammes et même 5 grammes de TiO^2 par litre donnent une coloration excessivement nette et belle. Une solution à 1 gramme par litre donne, au bout d'un certain temps de réduction, une coloration violet faible, il est vrai, mais très caractéristique, que l'on soit en solution sulfurique ou bisulfatée.

Nous avons vérifié ainsi que les meilleures conditions pour percevoir d'une façon indiscutable la coloration violette étaient d'opérer sur une solution contenant 5 grammes de TiO^2 par litre, c'est-à-dire $0^{gr},050$ dans 10 centimètres cubes.

D'autre part, l'addition de sels de fer, d'alumine ne modifie en rien la coloration obtenue.

En résumé, prendre donc 10 centimètres cubes de solution avec 2 centimètres cubes environ de SO^4H^2 pur y contenu ; ajouter quelques morceaux de zinc pur en grenaille. Si celui-ci ne s'attaque pas, favoriser par quelques gouttes d'une solution faible de sulfate de fer.

La coloration, d'abord d'un violet sale, devient, au bout d'une heure ou deux, d'un violet très franc et très caractéristique.

Méthodes pondérales

Nous avons étudié plusieurs des méthodes actuellement décrites pour la précipitation de l'acide titanique. Il y a lieu de dire qu'en général nous avons eu de bons résultats lorsqu'il s'agissait de solutions titaniques pures, mais aussitôt que l'on se trouve en présence d'autres corps tels que oxyde de fer, et surtout alumine et acide phosphorique, ce qui nous intéressait notamment pour la recherche de l'acide titanique dans les sols et cendres de végétaux, ce n'est plus la même chose. Le fer en général ne gêne pas, mais l'alumine et l'acide phosphorique sont généralement entraînés dans certaines méthodes. Enfin l'acide phosphorique l'est toujours en certaine proportion, et comme on le verra dans un chapitre suivant, nous avons été obligés de passer par un détour pour arriver, dans certains cas, à isoler l'acide titanique de l'acide phosphorique.

Donc, disons de suite qu'il y a lieu de préconiser avant tout les méthodes où l'acide titanique est précipité à l'état d'acide métatitanique, précipité grenu et facile à laver, et de rejeter celles où il est à l'état d'hydrate titanique ressemblant à de l'alumine gélatineuse, donc difficile à laver.

Nous avons porté notre choix sur la précipitation directe des solutions bisulfatées par simple ébullition, et notre but a été de voir quelles étaient les conditions d'acidité et de concentration nécessaires pour une précipitation complète.

En général nous avons opéré sur un volume de solution de 250 centimètres cubes renfermant soit $0^{gr},100$, $0^{gr},050$, $0^{gr},020$ ou $0^{gr},010$ d'acide titanique pur en présence de quantités différentes de bisulfate de potasse, et nous avons cherché ainsi la quantité maximum d'acide libre ou de bisulfate libre à avoir pour obtenir la précipitation complète dans un temps d'ébullition moindre que celui de six heures indiqué par certains auteurs, et en particulier par M. L. Lévy dans sa thèse de 1891. Nous avons ainsi constaté qu'au bout d'une heure d'ébullition et avec une faible acidité l'acide titanique (en quantités maximum de $0^{gr},100$) était entièrement précipité ; mais comme, dans certains cas, vu les principes étrangers contenus en

dehors du titane, une faible acidité donnerait des précipités de TiO^2 chargés d'autres corps, nous nous sommes fixé une durée d'ébullition de deux heures.

Donc, dans tous nos essais nous sommes partis d'une solution bisulfatée d'acide titanique contenant, pour 100 centimètres cubes, $0^{gr},100$ de TiO^2 et 5 grammes de bisulfate de potassium.

Nous avons d'autre part préparé une solution de bisulfate de potasse à 25 °/₀ (1 gramme dans 4 centimètres cubes de solution) en vue d'en rajouter aux solutions titaniques.

Voici maintenant les facteurs calculés pour passer du bisulfate à l'acide libre y contenu et inversement :

Bisulfate de potassium $\times$ 0,36 = SO^4H^2 libre.
Acide sulfurique libre $\times$ 2,78 = Bisulfate de potasse.

Première série d'essais. — Pris 150 centimètres cubes de la solution titanique ; étendu à 250 centimètres cubes avec de l'eau dans un verre de Bohême de 350 centimètres cubes.

On a donc $0^{gr},100$ de TiO^2 et 5 grammes de bisulfate (ou 20 grammes par litre) dans 250 centimètres cubes, c'est-à-dire $7^{gr},200$ d'acide libre.

Dans un autre verre, pris seulement 50 centimètres cubes de solution titanique ; étendu à 250 centimètres cubes. On a donc $0^{gr},050$ de TiO^2 dans les 250 centimètres cubes avec 10 grammes de bisulfate par litre ou $3^{gr},600$ d'acide libre.

On fait bouillir pendant deux heures en ajoutant de temps à autre de l'eau bouillante pour maintenir le volume de 250 centimètres cubes, puis on filtre bouillant. Si le liquide passe un peu trouble, on le repasse une deuxième fois, et il filtre clair. On lave avec 250 centimètres cubes environ *d'eau bouillante*, ce qui suffit pour que l'eau de lavage ne donne plus rien au chlorure de baryum. Calciner et peser.

On a retrouvé ainsi $0^{gr},098$ et $0^{gr},049$ d'acide titanique.

Dans les autres séries d'essais nous avons voulu avoir 5 grammes, 10 grammes et 15 grammes d'acide libre par litre, correspondant donc à 14, 28 et 42 grammes de bisulfate, et avec des quantités d'acide titanique de $0^{gr},100$, $0^{gr},050$, $0^{gr},020$ et $0^{gr},010$ dans un volume toujours de 250 centimètres cubes.

Voici le dispositif des essais :

SOLUTION de TiO^2 prélevé		BISULFATE déjà contenu	SOLUTION de bisulfate à 25 °/o à rajouter	
cent. cub.	gr.	gr.	gr.	cent. cub.
Deuxième série : 5 grammes de SO^4H^2 par litre ou 14 grammes de bisulfate :				
100 =	0,100	5,000	Rien	
50 =	0,050	2,500	1,0 =	4
20 =	0,020	1,000	2,5 =	10
10 =	0,010	0,500	3,0 =	12
Troisième série : 10 grammes de SO^4H^2 par litre ou 28 grammes de bisulfate :				
100 =	0,100	5,000	2,0 =	8
50 =	0,050	2,500	4,5 =	18
20 =	0,020	1,000	6,0 =	24
10 =	0,010	0,500	6,5 =	26
Quatrième série : 15 grammes de SO^4H^2 par litre ou 42 grammes de bisulfate :				
100 =	0,100	5,000	5,5 =	22
50 =	2,050	2,500	8,0 =	32
20 =	0,020	1,000	9,5 =	38
10 =	0,010	0,500	10,0 =	40

Tous ces essais ont été faits dans les mêmes conditions que ceux de la première série, c'est-à-dire : volume total amené à 250 centimètres cubes par addition d'eau distillée ; durée d'ébullition, deux heures en maintenant le volume à 250 centimètres cubes par addition d'eau distillée bouillante ; filtration et lavage du précipité à l'eau bouillante ; calcination et pesée de l'acide titanique.

Voici les résultats obtenus :

VOLUME de liquide sur lequel on a opéré	BISULFATE de potasse par litre	CORRESPONDANT à SO^4H^2 libre par litre	ACIDE TITANIQUE dans les 250 centimètres cubes			
			0gr,100	0gr,050	0gr,020	0gr,010
cent. cubes	gr.	gr.	Retrouvé par dosage			
250	10	3,600	»	0,049	»	»
250	14	5	0,098	0,049	0,020	0,010
250	20	7,200	0,098	»	»	»
250	28	10	0,098	0,049	0,019	0,009
250	42	15	0,095	0,0465	0,0135	0,0065

En résumé, on voit, d'après ces essais, que pour précipiter sur un

volume de 250 centimètres cubes de l'acide titanique en solution bisulfatée, et en quantités inférieures ou égales à $0^{gr},100$ on devra avoir, dans les 250 centimètres cubes, 5 grammes de bisulfate de potasse non neutralisé, c'est-à-dire correspondant à $7^{gr},200$ d'acide libre par litre, et maintenir l'ébullition pendant deux heures.

Nous avons d'autre part préparé une solution de potasse caustique pure telle que 10 centimètres cubes neutralisent 5 grammes de bisulfate de K préparé ainsi que nous l'avons décrit.

Pour faire une telle solution, il faut employer théoriquement $205^{gr},700$ de KOH par litre.

En pratique, vu la petite quantité d'eau contenue dans la potasse, on prendra 230 grammes environ.

Nous avons fait également des essais de précipitation de solutions titaniques contenant pour 250 centimètres cubes les quantités de $0^{gr},100$, $0^{gr},050$, $0^{gr},020$ et $0^{gr},010$ de TiO^2, et également 5 grammes de bisulfate de potasse ; mais nous avons rajouté en plus du sulfate neutre de potasse en quantités de 5 à 20 grammes au maximum. Nous avons retrouvé des résultats identiques à ceux ci-dessus.

Cela a une importance, comme on le verra plus loin à propos du dosage de l'acide titanique dans les sols ou les cendres où, pour avoir une certaine quantité de TiO^2 dans un volume de 250 centimètres cubes, on est obligé d'attaquer une certaine dose de matière par 15 ou 20 grammes de bisulfate, et alors, pour n'avoir plus que 5 grammes de bisulfate libre, on est dans la nécessité de neutraliser la solution, c'est-à-dire qu'on forme du sulfate neutre en dehors des sulfates formés déjà par l'attaque.

Il était donc intéressant de voir si une certaine proportion de sels et en particulier de sulfate neutre de potasse influerait sur la méthode de dosage ; et, comme on le voit, avec des quantités assez fortes il n'y a pas d'influence.

Pour nous résumer, nous avons donc établi pour les solutions d'acide titanique pur :

1° Une méthode colorimétrique au moyen de la réaction à l'eau oxygénée, méthode de dosage, et également une méthode plutôt qualitative par coloration due à la réduction des solutions titaniques par le zinc.

2° Une méthode pondérale assez rapide, par précipitation des solutions bisulfatées en deux heures d'ébullition, et avec une acidité sulfurique déterminée correspondant et due à 5 grammes de bisulfate de potasse libre, se trouvant dans 250 centimètres cubes de solution, quantité sur laquelle on opère.

TROISIÈME PARTIE

SUR LA PRÉSENCE ET LE DOSAGE DU TITANE DANS LES SOLS ET LES VÉGÉTAUX, NOTAMMENT DANS LA BETTERAVE ET LA CANNE A SUCRE

Présence du titane dans le sol. Résultats divers. — M. F. P. Dumington a démontré que le titane existait en quantités assez sensibles dans toutes les terres végétales. MM. Geschwind et Sellier pensent donc que d'après cela il ne serait pas étonnant de rencontrer le titane dans les végétaux comme élément régulier [1].

M. Maxwell a étudié aussi le sol hawaïen et il a constaté que le terrain sur lequel il avait disposé ses expériences contenait une quantité très notable d'acide titanique. Pour 100 grammes de terre sèche, ce chimiste a obtenu 2gr,54 d'acide titanique à côté de 36 grammes de silice totale (soluble et insoluble).

De notre côté, nous dirons de suite que nous avons trouvé l'acide titanique dans le sol égyptien dans une proportion d'environ 2 °/₀, et également dans des terres françaises pour la culture de la betterave, dans une proportion d'environ 0,50 °/₀.

Présence de l'acide titanique dans la betterave. — MM. Geschwind et Sellier, dans leur ouvrage intitulé : *La Betterave agricole et industrielle,* 1903, ont rappelé que M. le Dr von Lippmann avait

---

1. *Chemical News*, 76, 221 ; Geschwind et Sellier, *La Betterave agricole et industrielle*.

constaté que les résidus de raffinage de salins de sucraterie renfermaient environ 0,12 °/₀ de titane [1].

Sur la présence du titane dans la canne à sucre (travaux de M. W. Maxwell). — En 1899, M. Walter Maxwell, directeur de la station agronomique des planteurs hawaïens, publia un travail très intéressant sur la composition de deux variétés de cannes à sucre et dont le compte rendu se trouve dans le *Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie de France et des colonies*, nos 5 et 6 de 1900-1901, p. 328.

M. W. Maxwell avait entrepris des expériences pour connaître les besoins de la canne à sucre au point de vue de l'azote et des substances minérales diverses.

Dans ce but il a analysé les cendres de cannes et de feuilles, et a analysé également la matière sèche. Il donne tous les détails relatifs aux essais. Ce qui nous a particulièrement intéressé, c'est la quantité de *titane* qui a été trouvée dans les cendres de deux variétés de cannes, et aussi bien dans les feuilles que dans les tiges. Nous extrayons du mémoire de M. Maxwell les chiffres ci-après :

Sur 100 grammes de cendres :

	TIGES DE CANNES		FEUILLES DE CANNES	
	Bambou rose	Lahania	Bambou rose	Lahania
Acide titanique . . .	1,11	1,63	1,12	1,38

C'est, on le voit, une proportion notable de titane que jusqu'ici on n'avait pas encore signalée.

Seulement, disons de suite que ces quantités de titane sont trop fortes, en raison d'une circonstance que M. Walter Maxwell a signalée dans son travail de 1900. Par suite d'un malentendu, les cendres analysées avaient été lessivées en partie, ce qui explique les quantités considérables de silice trouvée et la faible teneur en alcalis.

Par conséquent, l'acide titanique, par ce fait même, a subi une augmentation qu'il est difficile d'évaluer, mais qui a pu être très sensible.

---

1. *Deutsche Zuckerindustrie*, 1893, n° 3.

D'après nous, l'acide titanique réel n'aurait pas dépassé 0,60 à 0,80 °/₀ de cendres de feuilles ou de cannes.

Disons de suite que dans toutes ces cendres il y a eu une certaine quantité de terre qui a faussé les résultats généraux de leur composition et surtout en ce qui concerne la proportion de titane, d'alumine et de silice.

Dans les expériences de M. Maxwell de 1900, on ne trouve plus les indications de dosage du titane dans les cendres des cannes à sucre, qui n'a pas été exécuté, mais seulement dans les cendres de feuilles, de têtes de cannes et de feuilles mortes.

M. Maxwell a dosé le titane dans la liqueur après séparation de la silice, et il a analysé à part la silice. Il a trouvé :

VARIÉTÉ des cannes	ACIDE TITANIQUE pour 100 grammes des matières minérales solubles	ACIDE TITANIQUE pour 100 grammes du résidu insoluble
Lahania	0,71	0,69
Bambou rose	0,60	0,30
Yellow Caledonia	0,43	0,45
Yellow bambou	0,58	0,41
Moors People	0,47	0,31
Demarara 117	0,23	0,33
— 95	0,30	0,44
— 124	0,38	0,31
Tibboo Mird (Louisiana)	0,54	0,48
Striped (Louisiana)	0,31	0,68
Purple (Louisiana)	0,38	0,59
Striped (Singapore)	0,52	0,23
Big-Ribbon	0,26	0,57

Dosage pondéral de l'acide titanique dans les terres, d'après W. Maxwell. — Voici la description de la méthode suivie par M. W. Maxwell pour doser l'acide titanique dans les terres :

Sur une partie de la solution correspondant à 1 gramme de matière (et renfermant l'acide titanique, le fer, etc.) on neutralise l'acidité au moyen du carbonate de soude, puis on rend le liquide très légèrement acide par l'acide sulfurique. On réduit le fer par addition d'acide sulfureux. On dilue à 800 centimètres cubes avec de l'eau distillée et on fait bouillir deux heures en maintenant le volume

de 800 centimètres cubes, en ajoutant de temps en temps de l'acide sulfureux pour assurer la réduction des sels de fer.

L'acide titanique se précipite. On filtre, on lave à l'eau chaude, on sèche, on calcine et on pèse l'acide titanique.

Remarques et essais de H. Pellet et Ch. Fribourg. — Comme suite à toutes les publications et aux résultats que nous venons de résumer précédemment, il ressortait donc que :

1° Le titane se rencontrait ou pouvait se rencontrer dans les sols où l'on cultive la canne à sucre et la betterave à sucre ;

2° D'après certains auteurs, on pourrait également trouver du titane dans la betterave et la canne à sucre.

Nous avons donc tenu à faire une étude sérieuse sur ce sujet, c'est-à-dire à suivre le titane dans les sols, les végétaux (canne et betterave) et même dans les différents produits de fabrication de sucrerie et de raffinerie.

Nous avons divisé notre travail en deux parties :

1° Recherche et dosage de l'acide titanique dans les sols :

a) Méthodes colorimétriques ;

b) Méthodes pondérales.

2° Recherche et dosage de l'acide titanique dans les cendres de végétaux et produits de fabrication :

a) Méthodes colorimétriques ;

b) Méthodes pondérales.

RECHERCHE ET DOSAGE DU TITANE DANS LES SOLS

(H. Pellet et Ch. Fribourg)

Généralités. — Nous avons commencé nos essais sur les sols qui contiennent une assez forte proportion de titane.

Comme dans toutes les recherches que nous faisons en vue de l'adoption d'une méthode analytique, pour nous assurer de la valeur et de l'exactitude de ladite méthode, nous composons un mélange synthétique ayant environ la constitution du produit sur lequel doit se faire l'analyse.

Ainsi, pour les sols nous avons pris comme point de départ la

composition moyenne du sol égyptien d'après un grand nombre d'analyses effectuées par l'un de nous [1].

Silice	54,60
Alumine	19,70
Peroxyde de fer	9,20
Carbonate de chaux	5,70
Carbonate de magnésie	4,10
Potasse	0,27
Ammoniaque	»
Acide phosphorique	0,18
Acide sulfurique	0,05
Matières organiques	5,90
Non dosé : chlore, soude	0,29
Total	99,99

On voit immédiatement qu'au point de vue de nos recherches on pourra de suite éliminer tous les corps qui se trouvent en petites quantités, et s'en tenir seulement aux principaux, c'est-à-dire silice, alumine, peroxyde de fer, carbonate de chaux et de magnésie, et on arrivera ainsi à la composition suivante :

Silice	60
Alumine	20
Peroxyde de fer	10
Carbonate de chaux	5
Carbonate de magnésie	5
Total	100

Pour tous les essais ultérieurs nous avons donc séparé de chacun de ces produits, et chaque fois que nous fîmes un essai nous pesions à part chacun des produits, dans les proportions ci-dessus.

Par exemple, pour 5 grammes ou 3 grammes de mélange, nous prenions respectivement :

	Pour 5 gr.	Pour 3 gr.
Silice	3,000	1,800
Alumine	1,000	0,600
Peroxyde de fer	0,500	0,300
Carbonate de chaux	0,250	0,150
Carbonate de magnésie	0,250	0,150
Total	5,000	3,000

1. H. Pellet, *Contrôle de la fabrication du sucre de canne,* 1895, p. 355.

Les produits que nous avons employés sont :

1° Silice. Silice pure recalcinée laissant très peu de résidu par l'acide fluorhydrique mais exempte de titane ;

2° Alumine. Nous avons pris du sulfate d'alumine pur ; pour une partie d'alumine à employer, nous prenons cinq fois plus de sulfate d'alumine ;

3° Peroxyde de fer. Nous l'avons obtenu par calcination à l'air d'oxalates de fer pur ;

4° Carbonate de chaux précipité pur desséché à l'étuve ;

5° Carbonate de magnésie pur desséché à l'étuve ;

6° Enfin l'acide titanique que nous avons rajouté en certaines proportions à tous ces produits était de l'acide titanique précipité contenant 20 °/₀ d'eau et 80 °/₀ d'acide titanique réel.

Essais d'une méthode colorimétrique directe. — Suivant tout ce que nous avons exposé à propos de la méthode colorimétrique pour le dosage de l'acide titanique, il nous a été facile de déduire de suite une méthode colorimétrique directe assez rapide, pour le dosage de l'acide titanique dans les sols, en nous basant :

1° Sur le départ facile de la silice par l'acide fluorhydrique ;

2° Sur la facilité de dosage de l'acide titanique par H^2O^2 même en présence de fer, alumine, chaux, magnésie.

Voici donc la description de notre méthode vérifiée avec des mélanges synthétiques et addition d'acide titanique dans des proportions déterminées.

Prendre $0^{gr},500$ de terre desséchée et très finement pulvérisée ; les introduire dans une capsule ronde de platine de 75 millimètres de diamètre contenant au préalable 10 grammes d'acide fluorhydrique pur. Ajouter ensuite 1 centimètre cube d'acide sulfurique pur à 66° Baumé et évaporer rapidement jusqu'à obtenir d'abord le départ de l'acide sulfurique en excès, puis, en chauffant un peu plus, jusqu'à siccité et cessation des vapeurs sulfuriques.

A ce moment, mélanger le résidu qui se détache très bien et qu'on pulvérise à la spatule avec 5 grammes de bisulfate de potasse.

Fondre à basse température jusqu'à avoir le tout bien liquéfié.

Après refroidissement, reprendre par l'eau distillée contenant

15 centimètres cubes d'acide sulfurique pur pour 100 centimètres cubes et en chauffant vers 60° au maximum.

Après dissolution et refroidissement amener à 100 centimètres cubes avec la même eau sulfurique. *Tout doit être dissous.*

Prendre 1 à 10 centimètres cubes de cette solution qu'on complète à 10 centimètres cubes avec de l'eau distillée, ajouter 5 centimètres cubes d'eau oxygénée, et examiner au colorimètre Josse.

Par comparaison avec une solution d'acide titanique à $0^{gr},100$ par litre (et de même acidité sulfurique), on déduit après calculs la quantité d'acide titanique contenue dans la terre.

En opérant de cette façon, nous avons trouvé les résultats suivants sur trois échantillons de terre provenant de différents endroits d'Égypte :

	ACIDE TITANIQUE pour 100 de terre sèche
1° Terre d'Ayat (80 kilomètres du Caire)	1,93
2° Terre de Cheick-Fadl (200 kilomètres du Caire). . . .	2,05
3° Terre de Nag-Hamadi (600 kilomètres du Caire). . . .	2,11

Par la méthode pondérale que nous avons adoptée et que nous décrirons plus loin, nous avons trouvé respectivement : 1,89, 1,97 et 2,04 °/₀.

On voit donc de suite la concordance des deux méthodes, et également ceci : c'est que la terre d'Égypte contient une proportion uniforme d'acide titanique quelle que soit la région où l'on a prélevé l'échantillon.

Nous avons fait un essai sur un échantillon de terre pour culture de la betterave provenant d'Audruicq (Pas-de-Calais) [en France] et nous y avons trouvé, pour 100 de terre sèche, 0,47 d'acide titanique (contre 0,44 trouvé par la méthode pondérale).

Essais de méthodes pondérales

Nous devons dire que nous avons essayé sans grand succès différentes méthodes, les unes un peu compliquées, les autres un peu plus simples, en vue du dosage pondéral de l'acide titanique dans les

terres, et que finalement nous sommes parvenus au moyen d'une méthode assez rapide à obtenir l'acide titanique à l'état pur.

Il y a lieu tout d'abord de faire deux subdivisions dans l'application de la méthode :

1° Terres contenant plus de 1 °/₀ d'acide titanique, ce qui est le cas de la terre d'Égypte ;

2° Terres contenant moins de 1 °/₀ d'acide titanique, ce qui est le cas de la terre du Pas-de-Calais.

1° Terres contenant plus de 1 °/₀ de TiO^2. — Nous donnerons d'abord les détails de la méthode essayée avec un mélange synthétique, préparé comme suit :

Silice pure	1gr,800
Alumine.	0 ,600 (1)
Carbonate de chaux	0 ,150
Carbonate de magnésie.	0 ,150
Sesquioxyde de fer	0 ,300
rajouté	
Acide titanique pur	0 ,060

c'est-à-dire 2 °/₀ du poids du mélange synthétique de terre.

Nous avons préparé trois mélanges semblables, puis pris trois capsules de platine dans lesquelles il a été introduit (dans chaque) 30 grammes d'acide fluorhydrique pur. Puis on a ajouté par petites portions chaque mélange de 3 grammes dans chaque capsule et en plus, après attaque, 3 centimètres cubes d'acide sulfurique pur. Évaporer doucement au bain-marie bouillant ; puis calciner légèrement jusqu'à seulement cessation de dégagement des vapeurs d'acide sulfurique en excès, de façon à ne pas décomposer les sulfates formés. Le résidu qui reste est très friable. On le pulvérise à la spatule et on le mélange dans la capsule même avec 15 grammes de bisulfate de potasse.

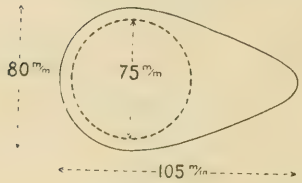
Chauffer ensuite doucement avec un bec de gaz jusqu'à fusion tranquille, puis au chalumeau en maintenant le couvercle de platine à 1 centimètre au-dessus de la capsule et légèrement sur le côté,

1. Pris 3 grammes de sulfate d'alumine.

la flamme du chalumeau presque jaune et rabattue un peu à l'intérieur de la capsule par le couvercle de platine. De cette façon il n'y a pas de mousse, et le bisulfate ne grimpe pas. La masse fondue devient très transparente, sans aucune matière en suspension, et de la couleur rouge des sels ferriques.

Mettre à refroidir sur une plaque de métal ; le culot fondu se détache très facilement, le pulvériser très grossièrement dans un mortier en ayant soin de le recouvrir pendant la pulvérisation au moyen d'un linge fin pour éviter les pertes par projections.

Puis introduire la masse pulvérisée dans un verre de Bohême de 350 à 400 centimètres cubes. Laver le mortier avec un peu d'eau et également la capsule et le couvercle de platine.



A ce propos, mentionnons la forme des couvercles spéciaux que nous avons adoptée pour les capsules rondes de platine, forme qui permet un lavage facile du couvercle soit par l'eau, soit par les acides.

S'arranger de façon à avoir dans chaque verre de 200 à 250 centimètres cubes de solution en ajoutant de l'eau distillée, puis chauffer vers 60° au *maximum* en se servant d'un thermomètre comme agitateur pour faciliter la dissolution. Après dissolution complète et refroidissement, compléter à 300 centimètres cubes.

Il est resté très peu d'insoluble. Filtrer chaque solution sur un filtre sans cendres, sec et recevant le liquide dans une fiole sèche.

Une fois tout le liquide passé, retirer les fioles et laver les filtres d'abord à l'eau froide, puis à l'eau bouillante. Il est à remarquer que si on commence le lavage avec de l'eau chaude, les sels ferriques retenus par le papier se décomposent et peuvent augmenter apparemment l'insoluble réel.

Nous avons calciné ces insolubles et pesé. Trouvé $0^{gr},019$, $0^{gr},019$, $0^{gr},018$; puis on les a fondus chacun avec 5 grammes de bisulfate de potasse. Fait une solution aqueuse à 100 centimètres cubes et vérifié à l'eau oxygénée l'absence de titane.

Donc l'insoluble était une petite quantité de silice non volatilisée.

Sur les trois solutions de 300 centimètres cubes, prélevé d'abord

250 centimètres cubes de chaque solution et mis dans des verres de Bohême de 350 à 400 centimètres cubes.

Pour le reste, pris 40 centimètres cubes de chaque que l'on a titrés avec la solution de potasse dont 10 centimètres cubes neutralisent 5 grammes de bisulfate de potasse. On a ainsi trouvé :

I.	$2^{cc},5$ de KOH
II.	2 ,8 —
III.	2 .8 —

Rapporté à 250 centimètres cubes, cela ferait :

I.	$15^{cc},6$
II.	17 ,5
III.	17 ,5

Comme nous voulons, dans nos essais en vue de précipitation de l'acide titanique, n'avoir que 5 grammes de bisulfate non neutralisé dans 250 centimètres cubes, nous devrons donc rajouter respectivement dans nos trois prélèvements de 250 centimètres cubes : $5^{cc},6$, $7^{cc},5$ et $7^{cc},5$ de potasse. Ceci étant fait, nous avons pris l'un des verres et l'avons chauffé jusqu'à l'ébullition. Il y a eu une forte précipitation d'oxydes ou sous-sels de fer.

Donc, dans ces conditions, la méthode ne marcherait pas et nous avons pensé à utiliser l'acide sulfurique pour empêcher cette précipitation.

Dans les deux autres verres nous avons ajouté 50 centimètres cubes d'une solution aqueuse, *fraîchement préparée,* d'acide sulfureux (à 1 020-1 025 de densité). Puis porté à l'ébullition, en la maintenant deux heures. (On rajoute pendant le cours de l'ébullition deux fois 40 à 50 centimètres cubes de solution sulfureuse, de façon à maintenir les sels de fer à l'état minimum.)

Filtré et lavé comme il a été dit pour les solutions d'acide titanique pur ; calciné ; trouvé $0^{gr},055$ et $0^{gr},056$.

Or les 250 centimètres cubes de solution renferment $0^{gr},050$ de TiO^2 pur. Donc, par la première précipitation, on arrive déjà à un résultat très voisin de la réalité. Il est très probable que les précipités retiennent mécaniquement un peu des substances primitives et notamment du fer.

Nous avons refondu chaque précipité avec 5 grammes de bisulfate de potasse, redissous pour faire 250 centimètres cubes de solution. La dissolution est très limpide. On a fait la précipitation de l'acide titanique à l'ébullition et en présence d'acide sulfureux comme il a été dit précédemment.

Les précipités calcinés ont donné $0^{gr},050$ et $0^{gr},050$.

Il y avait lieu de supposer, vu le poids et l'aspect très blanc du précipité, que nous étions donc arrivés à extraire l'acide titanique total. Mais pour vérifier sa pureté, nous l'avons refondu au bisulfate, fait 100 centimètres cubes et titré à l'eau oxygénée. Nous avons eu ainsi $0^{gr},049$ et $0^{gr},049$ d'acide titanique.

En résumé, on peut donc dire qu'avec deux précipitations successives on arrive à retrouver le poids d'acide titanique introduit et à l'état pur (ce qui n'était pas le cas avec d'autres méthodes que nous essayâmes, qui étaient longues et ne donnaient pas du TiO^2 pur). Nous avons alors songé à appliquer cette méthode aux sols, et en particulier à la terre d'Ayat, en opérant absolument dans les mêmes conditions.

Donc, 3 grammes de terre (essai en double). Attaque fluorhydrique, sulfurique. Fusion au bisulfate. Reprise par l'eau. Fait 300 centimètres cubes.

Il est resté à peine $0^{gr},020$ d'insoluble qu'on a vérifié ne pas contenir de titane.

On a donc prélevé 250 centimètres cubes et 40 centimètres cubes comme précédemment. Titré le bisulfate libre sur les 40 centimètres cubes et rajouté de la potasse sur les 250 centimètres cubes pour les amener à contenir 5 grammes de bisulfate non neutralisé.

Il y a lieu de remarquer qu'il s'est formé un léger louche, et nous avons reconnu, comme on le verra plus loin, que c'était du phosphate de titane qui se précipitait, vu la diminution très probable de l'acidité libre.

Néanmoins, nous avons fait la précipitation à l'ébullition, et trouvé comme poids $0^{gr},0565$ et $0^{gr},0555$, c'est-à-dire un poids un peu supérieur à celui correspondant au chiffre trouvé par la méthode colorimétrique directe.

Nous avons pensé, avant de refaire la deuxième précipitation, à

faire une fusion au carbonate de potasse pour séparer l'acide phosphorique entraîné et peut-être aussi un peu d'alumine qui pourrait être entraînée à l'état de phospho-aluminate. (Nous rappelons à ce sujet que dans le mélange synthétique nous n'avions pas mis d'acide phosphorique, vu la faible quantité que les sols contiennent ; mais, comme on le voit ici, cette faible quantité vient influer tout de même.)

Auparavant, suivant la diversité d'opinions formulées par différents auteurs par rapport à l'action du CO^3K^2 sur le TiO^2, nous avons tenu à faire quelques essais dans ce sens avec du TiO^2 pur. On lit dans le Dictionnaire de Wurtz (t. III, p. 422) : « Par la fusion d'un molécule d'acide titanique avec un excès de carbonate potassique, un molécule d'acide carbonique paraît se déplacer. La partie supérieure de la masse fondue est presque exclusivement formée par l'excès de carbonate ; la partie inférieure renferme le titanate neutre TiO^3K^2 (?) [Rose]. Ce sel forme une masse fibreuse jaunâtre plus fusible que le carbonate potassique. Traité par l'eau, il se dédouble en sel basique qui reste dissous et en un titanate acide insoluble ; le dernier, lavé jusqu'à ce que les eaux passent troubles, forme une poudre blanche ressemblant à l'acide titanique. H. Rose y a trouvé 17,33 à 18,01 d'oxyde de potassium et 82,67 à 81,99 d'anhydride titanique, soit environ $5\,TiO^2, K^2O = Ti^5O^{11}K^2$ (formule correspondant au métastannate de potassium anhydre).

Donc, d'après cette méthode, si on fond avec du carbonate de potasse et qu'on reprenne par l'eau, il y a une partie du titane qui passe en solution. D'autre part, la méthode de Morgan [1], basée sur la précipitation en phospho-titanate de fer (Arnold), puis fusion de ce dernier avec dix fois son poids de carbonate de potasse, traitement par l'eau, fusion au bisulfate et précipitation par l'acide acétique, est donnée comme une bonne méthode.

La même méthode est citée par Campredon à propos du dosage du titane dans les minerais de fer. Cet auteur dit qu'elle n'est pas à l'abri de tout reproche, mais elle est simple.

Nous avons donc fait un premier essai avec $0^{gr},047$ de TiO^2 pur et

1. *Annales de chimie analytique*, 1897, p. 272.

2 grammes de carbonate de potasse pulvérisé. Mélangé intimement fondu dans la capsule de platine et maintenu trois à quatre minutes en fusion.

Repris par environ 100 à 150 centimètres cubes d'eau. Maintenu quinze minutes en ébullition. Filtré. Le liquide passe clair. Puis lavé à l'eau bouillante. Le liquide passe trouble. Donc l'essai est à rejeter et nous avons pensé à employer de l'eau contenant du carbonate de potasse pour le lavage, croyant obtenir ainsi la filtration claire.

Nous avons donc refait deux essais, l'un avec $0^{gr},019$, l'autre avec $0^{gr},047$ de TiO^2 pur.

Le lavage du titane a été fait avec environ 100 à 150 centimètres cubes de solution bouillante de carbonate de potasse à 2 °/₀. Les liquides de lavage sont restés parfaitement clairs. On a calciné ensuite et fondu avec $5^{gr},500$ de bisulfate de potasse (on a mis $5^{gr},500$ au lieu de 5 grammes pour compenser le carbonate de potasse retenu par le filtre). Puis repris par 250 centimètres cubes d'eau et fait la précipitation de l'acide titanique par ébullition. On a trouvé $0^{gr},0165$ et $0^{gr},044$, c'est-à-dire environ $0^{gr},003$ de différence avec la quantité mise. L'essai de $0^{gr},047$ correspond environ aux quantités obtenues avec le premier précipité des terres. Donc, si on applique cette méthode, il y aurait lieu de tenir compte de la petite quantité de $0^{gr},003$ que l'on perd, toutes choses semblables, bien entendu.

Donc, sur les deux précipités de $0^{gr},0565$ et $0^{gr},555$ que nous avions obtenus avec la terre, nous avons fait ce traitement et nous avons remarqué alors que la solution obtenue après traitement au bisulfate était *absolument limpide*.

On a obtenu, comme poids d'acide titanique après précipitation nouvelle, $0^{gr},0435$ et $0^{gr},042$; moyenne, $0^{gr},04275$ qui, vérifiés à l'eau oxygénée, ont donné $0^{gr},042$ et $0^{gr},040$; moyenne, $0^{gr},041$, c'est-à-dire que les précipités étaient pour ainsi dire purs.

Donc, cela fera, en rajoutant $0^{gr},003$ perdu par fusion au carbonate : par pesée, $0^{gr},04575$ et par colorimétrie, $0^{gr},044$, ceci pour $2^{gr},500$ de terre, et, pour 100 grammes : 1,82 °/₀ par pesée et 1,76 °/₀ par colorimétrie ; mais la terre sur laquelle ont porté les essais tenait encore 5,60 °/₀ d'eau. Soit, à l'état sec : 1,92 °/₀ et 1,86 °/₀ ; moyenne, 1,89 °/₀.

Or sur le même échantillon nous avions trouvé, par la méthode colorimétrique directe, 1,93 °/₀. Il y a donc parfaite concordance.

Nous ne nous sommes pas tenus seulement à ce qui précède. Nous avons voulu encore vérifier qualitativement le titane par réaction au zinc. En refaisant la même méthode pondérale, et ayant obtenu également $0^{gr},043$ de précipité final, nous l'avons traité par 1 gramme de bisulfate de potasse et repris par un mélange de 10 centimètres cubes d'eau et 2 centimètres cubes de SO^4H^2 pur, puis traité par le zinc. Nous avons eu la coloration violette très franche et très nette, un peu plus faible qu'avec une solution à 5 grammes par litre, mais s'en rapprochant beaucoup.

Nous pouvons donc conclure nettement à la présence de l'acide titanique dans le sol égyptien par les différentes réactions susindiquées :

Précipitation en solution faiblement acide, le précipité calciné donnant franchement une coloration jaune à chaud ;

Colorations caractéristiques des solutions : (*a*) par l'eau oxygénée ; (*b*) par réduction par le zinc.

Nous avons appliqué également la méthode pondérale aux terres de Cheik-Fadl et Nag-Hamadi avec vérification des précipités finaux par la colorimétrie à l'eau oxygénée, et qualitativement par le zinc.

Nous avons ainsi obtenu : dans la terre de Cheik-Fadl, 1,97 °/₀, et dans la terre de Nag-Hamadi, 2,04 °/₀ ; (ces chiffres sont les moyennes des résultats trouvés par pesée des précipités finaux, et leur vérification par la colorimétrie, les résultats ayant varié entre eux de 0,04 à 0,06 °/₀, c'est-à-dire d'une quantité très faible).

Finalement, résumons les résultats trouvés par la méthode colorimétrique directe et la méthode pondérale sur les terres d'Égypte.

On a ainsi :

TERRES	ACIDE TITANIQUE pour cent — Méthode colorimétrique directe	Méthode pondérale
Ayat	1,93	1,89
Cheik-Fadl	2,05	1,97
Nag-Hamadi	2,11	2,04

On voit donc que les deux méthodes concordent bien et qu'on

peut avec avantage se servir de la méthode colorimétrique directe qui est tout aussi juste, mais plus rapide.

2° **Terres contenant moins de 1 °/₀ d'acide titanique.** — Comme on l'a vu précédemment, nous préconisons une méthode pondérale qui donne, somme toute, déjà une quantité pondérable d'acide titanique pur d'environ 0gr,040 à 0gr,050 permettant, en en faisant une solution dans un volume restreint, c'est-à-dire 10 à 15 centimètres cubes, de vérifier qualitativement la réaction colorée par réduction avec le zinc.

Pour la terre d'Audruicq sur laquelle nous n'avons trouvé colorimétriquement qu'environ 0,50 °/₀ d'acide titanique, avec 2gr,500 de terre, il est évident que nous n'obtiendrons qu'un très faible précipité, surtout étant obligé de le purifier avec du carbonate de potasse.

Nous avons donc immédiatement modifié notre méthode comme suit :

Pris deux capsules de platine dans chacune desquelles on a mis 5 grammes de terre très finement pulvérisée (elle contenait encore 0,82 °/₀ d'eau). Calciné pour détruire les matières organiques.

Puis dans chaque capsule ajouté le mélange suivant : 10 grammes de carbonate de soude pur et sec ; 10 grammes de carbonate de potasse pur et sec. Bien mélangé et fondu à fusion tranquille.

Détaché les deux culots après refroidissement, et repris le tout dans une capsule de 500 centimètres cubes par 100 à 150 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur et 200 centimètres cubes d'eau. Ajouté un peu de chlorate de potasse pour peroxyder et évaporé à sec, avec calcination pour insolubiliser la silice.

Repris par de l'eau contenant 50 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur. Filtré.

La silice calcinée pesait 7gr,255 ou 72,55 °/₀ de terre. Elle a été humectée avec un peu d'eau, puis 50 grammes d'acide fluorhydrique et 2 centimètres cubes d'acide sulfurique pur (il est bon d'ajouter un peu d'eau à la silice pour éviter une attaque trop violente qui se produirait à l'addition d'acide fluorhydrique sur de la silice en poudre). Évaporé ensuite à sec, on a eu un résidu sulfaté pesant 0gr,337, dont nous reparlerons plus loin.

Les liquides provenant de l'attaque chlorhydrique ont été répartis

dans trois verres de 400 centimètres cubes environ et précipités par l'ammoniaque. Les précipités ont été desséchés à l'étuve, détachés ensuite et on n'a calciné que les filtres. Le tout, pulvérisé assez finement, a été ajouté au résidu de l'attaque fluorhydrique de la silice et fondu avec 15 grammes de bisulfate de potasse. (On a lavé le mortier avec un peu d'eau, mis à évaporer dans une capsule de platine, puis fondu avec 2 grammes de bisulfate de potasse.)

L'ensemble des deux fusions a été dissous dans 200 centimètres cubes d'eau. La solution présentait un louche dû à un peu de précipité gélatineux (phosphate de titane). On l'a neutralisé complètement par un peu de solution de potasse, puis rajouté 5 grammes de bisulfate de potasse et effectué la précipitation du TiO^2 par ébullition en présence d'acide sulfureux.

Le précipité obtenu était gélatineux, c'est-à-dire différent de l'aspect de l'acide métatitanique qui est très fin et grenu.

Calciné il pesait $0^{gr},1115$.

On a effectué un traitement au carbonate de potasse. (Nous avons reconnu dans la solution carbonatée, acidifiée par l'acide nitrique, la présence très nette de l'acide phosphorique au moyen du nitro-molybdate d'ammoniaque.)

Le titanate insoluble a été refondu avec 5 grammes de bisulfate de potasse, puis redissous. La solution n'était pas encore claire. On a précipité néanmoins l'acide titanique et obtenu ainsi $0^{gr},0535$ de précipité.

Sur ce précipité nous avons refait un traitement au carbonate de potasse suivi d'une fusion au bisulfate. Nous avons eu alors une dissolution sulfatée absolument limpide.

On en a précipité l'acide titanique, et on a obtenu $0^{gr},0375$ de précipité.

Nous avons pensé que le précipité ainsi obtenu était de l'acide titanique pur.

En en faisant 100 centimètres cubes de solution, nous avons retrouvé par la colorimétrie à l'eau oxygénée $0^{gr},0375$ de TiO^2 pur, c'est-à-dire précisément le chiffre trouvé plus haut. Ayant pris très peu de solution pour le titrage à l'eau oxygénée, nous avons évaporé à douce chaleur le restant de la solution sous un volume faible, et

nous avons ainsi obtenu en réduisant par le zinc une coloration violette forte et très caractéristique.

En résumé, nous avons trouvé par pesée $0^{gr},0375$ de TiO^2. Comme nous avons fait deux traitements au carbonate de potasse, il y a lieu de rajouter $0^{gr},006$ au résultat précédent.

Il y aurait donc $0^{gr},0375 + 0^{gr},006 = 0^{gr},0435$ de TiO^2 dans les 10 grammes de terre sur lesquels on a opéré, c'est-à-dire 0,435 °/₀.

La terre contenant encore 0,82 °/₀ d'eau, cela fera à l'état sec 0,44 °/₀ d'acide titanique pur. Nous avions trouvé par la colorimétrie directe 0,47 °/₀.

Les deux méthodes donnent donc des résultats concordants.

Nous sommes ainsi arrivés à établir deux méthodes pondérales permettant de séparer sous une forme pure l'acide titanique dans les sols, même en quantités minimes.

Nous croyons utile de résumer maintenant les trois méthodes dont nous avons parlé pour les sols, c'est-à-dire :

1° Méthode colorimétrique directe ;

2° Méthode pondérale dans les sols contenant plus de 1 °/₀ d'acide titanique ;

3° Méthode pondérale dans les sols contenant moins de 1 °/₀ d'acide titanique.

Note résumée sur les méthodes à employer pour doser l'acide titanique dans les sols

I. — **Méthode colorimétrique directe.** — Prendre $0^{gr},500$ de terre séchée, finement pulvérisée. Les introduire dans une capsule de platine contenant au préalable 15 grammes d'acide fluorhydrique pur. Ajouter ensuite 1 centimètre cube de SO^4H^2 pur à 66° Baumé. Évaporer à siccité. Détacher le résidu, ce qui est facile, le pulvériser à la spatule et le mélanger avec 5 grammes de bisulfate de potasse (préparé synthétiquement avec les quantités de sulfate neutre et acide sulfurique à 66° théoriques). Fondre.

Reprendre par de l'eau distillée contenant 15 centimètres cubes de SO^4H^2 pur dans 100 centimètres cubes et à une température

maximum de 60°. Laisser refroidir, compléter à 100 centimètres cubes. Tout doit être *dissous*.

Prendre 1 à 10 centimètres cubes qu'on complète à 10 centimètres cubes avec de l'eau distillée, ajouter 5 centimètres cubes d'eau oxygénée à 12 volumes et examiner au colorimètre Josse.

Par comparaison avec une solution d'acide titanique pur à $0^{gr},100$ par litre, on déduit la quantité d'acide titanique.

Une solution à $0^{gr},100$ de TiO^2 par litre donne environ 60 à 70 colories.

II. — **Méthode pondérale pour les terres contenant plus de 1 °/₀ d'acide titanique.** — Mettre dans une capsule de platine 30 grammes d'acide fluorhydrique pur et y ajouter par petites portions 3 grammes de terre desséchée et finement pulvérisée. Ajouter ensuite 3 centimètres cubes d'acide sulfurique pur. Évaporer au bain-marie. Puis calciner légèrement pour aller juste à siccité et ne pas décomposer les sulfates formés.

Pulvériser le résidu *grosso modo* dans la capsule avec une spatule et le mélanger avec 15 grammes de bisulfate de potasse. Fondre le tout. Après refroidissement, détacher le culot de la capsule et le pulvériser grossièrement. Dissoudre ensuite dans 200 à 250 centimètres cubes d'eau à une température de 60°. Après refroidissement, compléter à 300 centimètres cubes. Filtrer pour séparer des traces de sable (5 à 10 milligrammes au maximum).

Du liquide prélever 250 centimètres cubes (c'est-à-dire $2^{gr},500$ de terre) que l'on met dans un verre de Bohême de 100 centimètres cubes. Sur le restant prendre 40 centimètres cubes, que l'on titre avec une solution de potasse telle que 10 centimètres cubes neutralisent exactement 5 grammes de bisulfate de potasse.

Puis, aux 250 centimètres cubes ajouter une quantité de liqueur de potasse telle qu'ils renferment 5 grammes de bisulfate non neutralisé.

Ajouter ensuite 50 centimètres cubes de solution d'acide sulfureux (à 1 020-1 025 de densité) fraîchement préparée. Puis porter à l'ébullition pendant deux heures. (Ajouter deux fois pendant la durée de l'ébullition 50 centimètres cubes de solution sulfureuse.) Filtrer et

laver à l'eau bouillante. Calciner le précipité. C'est de l'acide titanique presque pur contenant un peu d'acide phosphorique.

Le refondre avec 2 grammes de carbonate de potasse pur et reprendre par l'eau bouillante. Filtrer, laver avec une solution de carbonate de potasse à 2 °/₀. L'acide titanique reste sous forme de titanate insoluble. Une très faible partie passe en solution. On en tient compte par un essai témoin avec les mêmes quantités d'acide titanique initial.

Le titanate insoluble est calciné puis refondu avec 5 grammes de bisulfate de potasse.

On le précipite ensuite comme il a été dit plus haut. Le TiO^2 obtenu est calciné et on y ajoute le chiffre trouvé pour la quantité perdue par la fusion au carbonate de potasse.

On rapporte à 100 grammes de terre sèche. On vérifie sur les derniers précipités obtenus leur pureté par un titrage à l'eau oxygénée, et aussi en faisant une solution assez concentrée [3 à 5 (°/₀₀)], la réaction au zinc.

III. — **Méthode pondérale pour les terres contenant moins de 1 °/₀ d'acide titanique.** — Prendre deux capsules de platine, et dans chaque mettre 5 grammes de terre séchée finement pulvérisée, puis calciner pour détruire les matières organiques. Dans chaque capsule, mettre : 10 grammes de carbonate de soude pur et sec et 10 grammes de carbonate de potasse pur et sec. Mélanger et fondre. Reprendre par l'eau chlorhydrique le résultat des deux fusions. Évaporer à sec et calciner pour insolubiliser la silice. Reprendre par l'eau chlorhydrique et filtrer. Calciner la silice. On a donc :

1° De la silice ;

2° Une solution chlorhydrique.

La silice est traitée par un mélange d'acide fluorhydrique et sulfurique et laisse un résidu sulfaté. La solution chlorhydrique est précipitée par l'ammoniaque, le précipité séché à l'étuve, puis détaché du filtre ; le filtre seul est calciné.

L'ensemble du résidu de la silice et des précipités par l'ammoniaque + cendres des filtres est fondu avec 15 à 20 grammes de bisulfate de potasse.

Suivre alors la méthode ordinaire pour la précipitation de l'acide titanique (c'est-à-dire avec 5 grammes de bisulfate non neutralisé pour 250 centimètres cubes de solution).

Faire un ou deux traitements intermédiaires au carbonate de potasse fondu.

Finalement une dernière précipitation donne l'acide titanique pur.

On le vérifie quantitativement par l'eau oxygénée et qualitativement par le zinc.

RECHERCHE ET DOSAGE DE L'ACIDE TITANIQUE DANS LES CENDRES DE VÉGÉTAUX (canne et betterave)

(Par MM. H. Pellet et Ch. Fribourg)

Généralités. — Nos essais ont d'abord porté sur les cendres de cannes à sucre, en particulier de cannes à sucre de provenance égyptienne.

Nous avons donc eu à préparer des cendres de cannes en nous y prenant de la façon suivante :

Pendant toute la campagne 1902-1903, on a prélevé des échantillons de cossettes de cannes à la sucrerie de El-Hawamdieh (Égypte) que l'on a desséchés à l'étuve au fur et à mesure. Cela représentait $70^{kg},730$ de cannes fraîches. Après la fabrication, le tout a été calciné, et laissa 558 grammes de cendres grises.

Ces cendres ont été soumises à un lessivage : la partie lessivée évaporée à sec, la partie insoluble recalcinée pour détruire le charbon restant. Puis le tout a été de nouveau réuni et a donné un total de 484 grammes de cendres finales.

Nous avons déjà donné dans un autre mémoire ayant trait à « la composition minérale de la canne à sucre » la composition de ces cendres.

Essai de la méthode colorimétrique directe. — Au point de vue du titane, nous avons tenu à essayer tout de suite la méthode colorimétrique directe employée pour les terres, pensant qu'elle pourrait convenir. En effet elle allait bien, mais seulement nous avons dû

simplement changer la prise d'essai, vu que la quantité d'acide titanique est bien faible.

Donc nous prenons 2gr,500 de cendres que nous attaquons par 10 à 15 grammes de H Fl pur, et 1 centimètre cube d'acide sulfurique pur.

Fusion avec 5 grammes de bisulfate.

Faire ensuite 100 centimètres cubes de solution contenant 15 centimètres cubes de SO^4H^2 pur.

Titrer à l'eau oxygénée.

Nous avons ainsi trouvé dans les cendres de cannes ci-dessus : 0,17 °/₀ d'acide titanique pur.

Essai d'une méthode pondérale. — Nous avons voulu vérifier le dosage précédent par un dosage pondéral.

Il y a lieu tout d'abord de dire qu'il y a une grande différence entre la composition des sols et celle des cendres, et que la méthode applicable aux sols ne s'applique pas aux cendres, d'autant plus que dans les sols on trouve une plus grande quantité d'acide titanique en présence de fer, alumine en notables proportions, mais en présence de très petites quantités d'acide phosphorique.

Dans les cendres au contraire on trouve des traces d'acide titanique en présence de traces de fer et alumine, mais de quantités notables d'acide phosphorique.

Les cendres provenant de matières calcinées, il est possible qu'une partie notable de l'acide titanique y contenu soit devenue insoluble dans les acides.

Nous avons donc dans ce but employé la méthode suivante en opérant sur 50 grammes de cendres, c'est-à-dire une quantité importante, méthode consistant en une attaque chlorhydrique donnant : 1° une silice insoluble ; 2° une liqueur chlorhydrique, et à doser séparément sur chaque l'acide titanique.

Nous avons pris deux capsules de 500 centimètres cubes et mis dans chacune 50 grammes de cendres + 150 centimètres cubes d'eau et 150 centimètres cubes de HCl pur, avec 1 gramme de chlorate de potasse. Évaporé à sec. Calciné. Repris par l'eau chlorhydrique. Filtré et lavé. On a obtenu comme silice insoluble 13gr,765 et

13gr,737, c'est-à-dire 27,53 et 27,47 °/₀ ; les liquides chlorhydriques ont été mis à part.

Les silices ont été traitées chacune par le mélange fluorhydrique et sulfurique, puis par 20 grammes de bisulfate de potasse, et enfin fait 250 centimètres cubes de solution aqueuse. Cette solution était un peu trouble, et cela est dû à du phosphate ainsi que nous l'avons constaté plus loin.

Il nous a suffi d'une première précipitation suivie d'un traitement au carbonate de potasse et d'une nouvelle fusion au bisulfate, qui a donné alors une solution parfaitement claire, pour obtenir par une nouvelle précipitation de l'acide titanique pur.

On a pesé 0gr,0557 et 0gr,057.

Le premier précipité refondu et fait 10 centimètres cubes de solution sulfurique a donné avec le zinc une coloration violette très forte.

Le deuxième précipité refondu et amené à 100 centimètres cubes, puis titré à l'eau oxygénée, a donné 0gr,055 contre 0gr,057 pesé. En résumé, on a trouvé par pesée 0gr,056 et 0gr,057 qu'on peut transformer d'après le titrage à l'eau oxygénée en 0gr,055 de TiO^2 pur, auquel il y a lieu d'ajouter 0gr,003 pour la fusion au carbonate de potasse.

Cela fait 0gr,058 pour 50 grammes de cendres, et 0gr,116 pour 100 grammes de cendres : en gros 0gr,12 contre 0gr,17 trouvé par la méthode colorimétrique directe.

Il est à présumer que la différence 0,05 °/₀ se trouve dans la solution chlorhydrique.

Pour arriver à isoler l'acide titanique de la solution chlorhydrique, nous nous sommes inspirés des méthodes de Morgan et d'Arnold, basées sur la séparation à l'état de phosphotitanate de fer, par addition de phosphate d'ammoniaque ; il est dit dans cette méthode qu'il faut calciner assez fortement après l'évaporation à sec.

Nous avons poursuivi le but suivant : ajouter une quantité de phosphate d'ammoniaque telle que toutes les bases soient converties en phosphates, et en même temps un peu de perchlorure de fer pour être sûr de la formation de phosphotitanate.

Le liquide du premier essai de 50 grammes nous a servi comme essai et étude préliminaire.

Le second pour essai final.

Ce liquide a été concentré à 200 centimètres cubes environ et additionné de $0^{gr},500$ de perchlorure de fer sublimé et 25 grammes de phosphate d'ammoniaque.

Évaporé jusqu'à siccité dans du platine, puis calciné jusqu'à disparition du chlorure d'ammonium, la masse devenant pâteuse.

Le tout est repris par l'eau chlorhydrique jusqu'à désagrégation complète par ébullition.

Filtré pour séparer l'insoluble. Calciné légèrement, et fondu avec 15 grammes de carbonate de potasse pour décomposer le phosphate multiple obtenu.

Repris par l'eau bouillante et lavé avec le carbonate de potasse à 2 °/₀.

Fait ensuite un traitement au bisulfate, avec précipitation de l'acide titanique. Une deuxième fusion avec 2 grammes de carbonate de potasse suivie d'une nouvelle fusion au bisulfate et précipitation qui nous a donné $0^{gr},020$ de précipité contenant par titrage à l'eau oxygénée $0^{gr},015$ de TiO^2 pur.

On doit donc rajouter $0^{gr},006$ pour les deux fusions carbonatées. Cela fait un total de $0^{gr},021$ retrouvé ; et pour 100 grammes de cendres $0^{gr},042$.

En ajoutant au résultat trouvé sur la silice cela fait 0,12 et 0,04, soit un total de 0,16 °/₀ retrouvé par pesée contre 0,17 par colorimétrie directe.

On voit que le précipité final obtenu dans la solution chlorhydrique n'était pas encore très pur. Mais néanmoins, vu les difficultés de séparation, le résultat est déjà assez satisfaisant.

Depuis nous avons expérimenté très longuement la méthode de dosage de l'alumine par le procédé Carnot : méthode de précipitation par les phosphates en présence d'hyposulfite de soude et en solution chlorhydro-acétique, et nous pensons qu'on simplifierait énormément la méthode précédente en l'appliquant au liquide chlorhydrique des cendres. On précipiterait ainsi directement le titane et l'alumine à l'état de phosphates, et par des traitements au bisulfate et au carbonate de potasse on arriverait plus vite à l'acide titanique pur.

Comme on le voit, le dosage pondéral de l'acide titanique dans les

cendres de végétaux, surtout s'il est en petites proportions, et en présence d'une quantité assez notable d'acide phosphorique, n'est pas chose très facile, et la méthode colorimétrique directe telle que nous l'avons exposée est beaucoup plus rapide et tout aussi exacte.

Nous donnerons ci-dessous la méthode résumée pour le dosage pondéral de l'acide titanique dans les cendres de végétaux contenant cet acide titanique en petites quantités.

Note résumée sur la méthode à employer pour séparer et doser pondéralement l'acide titanique contenu en petites quantités dans les cendres de végétaux

Attaquer 50 grammes de cendres par l'acide chlorhydrique dilué. Évaporer à sec. Calciner. Reprendre par l'eau chlorhydrique. Séparer la silice par filtration.

On a donc :

1° De la silice ;

2° Une solution chlorhydrique.

La silice est traitée par le mélange d'acides fluorhydrique et sulfurique. On suit le traitement ordinaire pour y doser l'acide titanique, c'est-à-dire :

1° Fusion au bisulfate et précipitation ;

2° Fusion au carbonate de potasse ;

3° Seconde fusion au bisulfate et précipitation de l'acide titanique pur ;

4° Vérification par l'eau oxygénée et le zinc.

Pour la solution chlorhydrique, on précipite l'alumine et le titane par le phosphate de soude en présence d'hyposulfite de soude, en solution chlorhydro-acétique (méthode Carnot pour dosage de l'alumine) ; l'alumine et le titane sont précipités à l'état de phosphates. Ces phosphates sont traités par le carbonate de potasse suivi d'une fusion bisulfatée et précipitation, et subissent un deuxième traitement semblable si par le premier on n'arrive pas à l'acide titanique pur.

Le dernier précipité d'acide titanique est vérifié également par l'eau oxygénée et le zinc.

Nouvelles déterminations du titane faites sur des cannes, des jus de cannes et des betteraves

Comme on l'a vu précédemment, les cannes qui nous ont servi à préparer les cendres étaient des cossettes tout-venant de la fabrication et, par conséquent, nous ne pouvions affirmer que l'acide titanique y contenu provenait exclusivement des cannes. En effet, dans l'analyse des cendres nous avons trouvé une petite quantité de sable, c'est-à-dire que les cossettes contenaient un peu de terre, et l'acide titanique pouvait donc provenir de la terre.

Nous avons alors repris une certaine quantité de cannes que nous avons nettoyées nous-mêmes avec grand soin, découpées, desséchées, puis préparé des cendres comme il a été dit plus haut.

Les cendres ainsi obtenues n'ont donné que des traces absolument insignifiantes d'acide titanique en opérant par la méthode colorimétrique directe.

Il est donc à supposer que l'acide titanique trouvé plus haut provenait exclusivement de la terre renfermée dans les cendres, et qu'il n'existe pas normalement ou du moins en très petites quantités dans la canne. Ceci est exact pour les cannes récoltées en Égypte du moins, mais il est impossible d'affirmer qu'il en soit ainsi pour toutes les cannes. Il est parfaitement possible que les cannes de Hawaï renferment normalement du titane même en opérant sur des cendres absolument pures. Cela peut tenir d'autre part à ce que la canne, à Hawaï, a une durée de végétation de vingt à vingt-deux mois, alors que la canne en Égypte ne végète que durant huit à douze mois.

Nous avons préparé également avec beaucoup de soin des cendres de betteraves à l'usine de Pont-d'Ardres (France), en suivant toutes les précautions mentionnées plus haut.

Là aussi nous n'avons pas trouvé d'acide titanique.

Nous avons préparé d'autre part des cendres de jus *industriels*, de cannes provenant de deux usines d'Égypte travaillant :

1° L'une par pression ;

2° L'autre par diffusion.

Nous y avons dosé le titane par la méthode colorimétrique directe et obtenu :

	ACIDE TITANIQUE pour cent de cendres
Dans les cendres de jus de pression.	0,11
— diffusion.	néant

Nous avons aussi dosé l'acide titanique dans sept échantillons de mélasses de différentes usines d'Égypte et trouvé :

	ACIDE TITANIQUE pour cent de cendres
Mélasses d'usines travaillant par diffusion	0,01 à 0,02
— pression.	0,01 à 0,02
Mélasses de raffinerie	0,03

Recherche et dosage de l'acide titanique dans les cendres de bagasse de Java, d'après H. Pellet et Ch. Fribourg. — Sur notre demande, notre distingué collègue, M. Prinsen-Geerligs, directeur de la station d'essais de Java, nous a adressé différents échantillons de cendres de bagasse étiquetés comme suit :

1° Cendres de bagasse de la sucrerie Bœdveran ;

2° Cendres de bagasse retirées d'un four à gaz dit de Kersten de la sucrerie de Mingirran ;

3° Cendres de bagasse incomplètement brûlée (la bagasse initiale renfermant 53 °/₀ d'eau) ;

4° Cendres de bagasse de la sucrerie de Tjebongan.

Toutes ces cendres de bagasses proviennent de bagasses de moulins brûlées sans bois ni feuilles ;

5° Cendres de feuilles d'un four spécial où on ne brûle que des feuilles de cannes sèches.

Sur toutes ces cendres finement pulvérisées, et bien calcinées, certaines même avec un lessivage préalable, nous avons dosé le titane par la même méthode colorimétrique que celle employée pour les cendres de cannes et qui s'applique du reste très bien.

Nous avons ainsi dosé :

	ACIDE TITANIQUE pour cent de cendres
N° 1	0,176
2	0,074
3	0,126
4	0,161
5	0,129

Mais nous rappelons de suite que dans tous ces produits industriels le titane peut provenir de ce que la canne travaillée a apporté de la terre, que l'on retrouve partout ensuite dans les jus, les écumes, les mélasses et naturellement dans la bagasse. D'autant plus que les jus de cannes clarifiés ne peuvent être filtrés comme les jus de betteraves.

Recherche et dosage de l'acide titanique dans les écumes de sucrerie, d'après H. Pellet et Ch. Fribourg. — Enfin, pour compléter notre étude, nous avons voulu doser l'acide titanique dans des écumes de sucreries de cannes, soit de carbonatation, soit de défécation.

Nous avons employé la méthode colorimétrique directe avec une petite variante, vu la quantité de chaux contenue.

Les écumes renfermant 3 à 5 °/₀ d'eau, c'est-à-dire à peu près sèches, on en a calciné 5 grammes puis repris par l'eau chlorhydrique, avec un peu de chlorate de potasse. Ensuite, sans filtrer, ajouté de l'ammoniaque.

Le précipité ainsi obtenu est calciné puis traité par l'acide fluorhydrique (15 à 25 grammes) avec 1 à 2 centimètres cubes d'acide sulfurique.

On fond alors avec 5 grammes de bisulfate, et ensuite on fait 100 centimètres cubes de solution, que l'on titre colorimétriquement à l'eau oxygénée.

Nous avons trouvé :

	ACIDE TITANIQUE pour cent d'écumes
Écumes de carbonatation (usine travaillant par diffusion) .	0,014
Écumes de défécation (usine travaillant par pression). . .	0,34

QUATRIÈME PARTIE

CONCLUSIONS

Dans l'étude que nous venons de présenter, notre but a donc été de faire d'abord une revision rapide des propriétés principales du

titane et de ses dérivés, puis une bibliographie assez complète de toutes les méthodes de séparation et de dosage de l'acide titanique actuellement connues.

Enfin nous avons nous-mêmes étudié des méthodes de dosage de l'acide titanique, soit colorimétriques, soit pondérales.

Ensuite, vu les quantités d'acide titanique trouvées par divers auteurs dans certains sols, et sur les suppositions faites par d'autres de la possibilité de rencontrer l'acide titanique dans certains végétaux et notamment dans la canne à sucre et la betterave, puis également après les résultats de M. Maxwell qui a trouvé des quantités d'acide titanique assez élevées dans les cendres de cannes (tiges et feuilles), notre but a été d'étudier cette question. Comme on l'a vu, nous avons établi des méthodes les unes très simplifiées, les autres un peu plus complexes pour doser l'acide titanique dans les sols et les cendres de végétaux.

M. Maxwell a trouvé $2^{gr},46$ d'acide titanique pour 100 grammes de terre à 9,50 °/₀ d'humidité.

De notre côté nous avons trouvé :

1° Terre d'Égypte pour la culture de la canne à sucre : des quantités on peut dire à peu près uniformes, suivant la provenance :

	TiO^2 pour 100 grammes de terre sèche
A 80 kilomètres du Caire	1,89
A 200 —	1,79
A 600 —	2,04

c'est-à-dire 2 °/₀ en moyenne ;

2° Terre d'Audruicq (France) pour la culture de la betterave : $0^{gr},47$ d'acide titanique pour 100 grammes de terre sèche.

Comme on le voit, l'acide titanique existe dans les sols de culture et en proportions variables.

Pour ce qui est des cendres de végétaux, M. Maxwell avait trouvé : $1^{gr},11$ et $1^{gr},63$ d'acide titanique pour 100 grammes de cendres provenant de deux variétés de cannes, et, pour les cendres de feuilles des mêmes cannes, $1^{gr},12$ et $1^{gr},38$ de TiO^2.

Dans les essais que nous avons faits sur les cendres de cannes, nous

avons trouvé 0gr,17 de TiO^2 °/₀ dans des cendres contenant encore un peu de terre.

Mais sur des cendres de cannes et de betteraves préparées avec beaucoup de soins nous n'avons pas trouvé d'acide titanique.

Nous avons trouvé de l'acide titanique, en très petites quantités, il est vrai, dans des produits de fabrication, jus, mélasses, écumes, bagasses...

Mais ces quantités sont d'autant plus faibles que les procédés d'extraction sont plus soignés, et industriellement il n'est pas possible d'éliminer la terre qu'apporte toujours la canne par ses radicelles. Ainsi les jus de pression nous ont donné des cendres contenant 0,11 °/₀ d'acide titanique, tandis que les jus de diffusion qui subissent, somme toute, déjà une épuration physique, sorte de filtration sur la cossette, ont donné des cendres renfermant à peine de l'acide titanique.

Le même phénomène s'est produit dans une étude analogue que nous avons faite en vue de la recherche de l'alumine dans la canne à sucre et la betterave, c'est-à-dire qu'on trouvait de l'alumine si les cendres étaient préparées avec des produits contenant encore un peu de terre ; mais on n'en trouvait plus, ou des traces, dans des cendres préparées avec des produits parfaitement nettoyés et exempts de terre.

De même les résultats obtenus avec les écumes sont très probants.

L'écume de carbonatation qui résulte d'un jus de cannes par diffusion ne renferme que des traces de titane.

L'écume de défécation d'un jus de cannes obtenu par pression, et qui contient évidemment et forcément de la terre, renferme 0,34 °/₀ d'acide titanique, c'est-à-dire une quantité notable.

La conclusion est donc que l'acide titanique, ainsi que l'alumine du reste, n'existe pas normalement dans la canne et la betterave, et que si on en trouve dans les produits industriels, cet acide titanique provient de la terre apportée par les matières premières. Cela est exact pour les cannes récoltées en Égypte et pour des betteraves récoltées dans le nord de la France ; mais il nous est impossible de certifier que nos conclusions s'appliquent à toutes les cannes et à toutes les betteraves.

C'est dans le but de faciliter les recherches et les dosages du titane

dans les cendres pures de végétaux que nous avons fait cette étude, et après quelques analyses exécutées par plusieurs de nos collègues sur des végétaux récoltés en différents pays on pourra conclure définitivement à l'absence ou à la présence normale du titane dans la betterave, la canne à sucre, etc.

NOTE ADDITIONNELLE

Notre mémoire était à l'impression lorsque nous avons eu connaissance d'une note de M. P. Truchot, intitulée « Dosage du titane dans les minerais », parue dans les *Annales de chimie analytique* du 15 octobre 1905.

Le travail de M. P. Truchot est très intéressant et nous sommes heureux de constater que nous avons observé chacun de notre côté des faits analogues en ce qui concerne différentes méthodes de précipitation de l'acide titanique ou de séparation de la silice d'avec l'acide titanique.

Nous avons également cherché à réduire la durée d'ébullition des liqueurs pour précipiter tout l'acide titanique et éviter la précipitation du fer lors de l'emploi des méthodes pondérales. M. P. Truchot préfère les méthodes pondérales aux méthodes colorimétriques pour le dosage du titane, mais nous pensons qu'à la suite des essais que nous avons répétés à cet égard il reconnaîtra que la méthode à l'eau oxygénée peut être appliquée dans bien des cas.

De plus, nos études ont porté sur le dosage du titane surtout dans les cendres des végétaux et dans les terres, et on a pu voir que pour les cas particuliers il faut aussi modifier plus ou moins la marche à suivre pour obtenir de bons résultats.

A propos des méthodes colorimétriques nous pensons que la réaction de L. Lévy pourrait être appliquée pour le dosage de très petites quantités de titane, c'est-à-dire là où la sensibilité de la méthode à l'eau oxygénée pourrait laisser des doutes.

La réaction de Lévy est basée sur la coloration que donne l'hydroquinone en présence de l'acide titanique en solution sulfurique. La

sensibilité de cette réaction permet de déceler 1/100000e de milligramme d'acide titanique.

Du reste, M. P. Truchot dit que l'intensité de la coloration rouge grenat qui se forme est proportionnelle à la teneur en acide titanique.

On opérerait donc dans ce cas comme pour le dosage du sucre dans les produits de la sucrerie. Le saccharimètre est suffisant pour le dosage du sucre jusqu'à $0^{gr},2$ à $0^{gr},3$ par litre et en examinant ensuite les liquides dans des tubes de $0^{m},40$ ou de $0^{m},50$ de longueur. Après, les résultats sont incertains et il faut employer la méthode par décoloration des liqueurs cupriques qui est plus sensible mais qui ne l'est pas encore suffisamment pour constater des traces de sucre dans les eaux de condensation, etc. C'est alors qu'on se sert aussi d'une réaction colorée pour déceler ces traces de sucre, basée sur la coloration violacée que produit l'alpha-naphtol en présence du sucre en solution sulfurique chaude.

L'un de nous a décrit une méthode qui permet de doser précisément le sucre dans les liquides divers et ce à partir du moment où cesse la sensibilité du saccharimètre. D'autre part, la réaction colorée étant trop intense avec des doses élevées de sucre, l'exactitude du procédé s'en ressent. On a donc ainsi le moyen de doser rapidement et sûrement le sucre dans des liquides très étendus et ce jusqu'à 2 et 3 milligrammes par litre.

Il est probable qu'il en serait de même avec la réaction de Lévy donnant la coloration rouge grenat, qui pourrait être employée pour le dosage de très faibles quantités de titane dans des substances diverses et ce en suivant la méthode décrite par M. Lévy ou en la modifiant au besoin, comme nous avons modifié la marche généralement suivie pour la réaction du sucre avec l'alpha-naphtol.

Ordinairement on mettait l'alpha-naphtol dans la solution sucrée et on ajoutait de l'acide sulfurique avec certaine précaution pour obtenir l'anneau coloré.

Dans le procédé Pellet et Giesbers on met d'abord l'acide sulfurique, puis l'eau à essayer et ensuite le réactif. On agite et on a une coloration proportionnelle à la quantité de sucre en opérant toujours dans des conditions identiques.

NOTE

SUR LE

DOSAGE DES SUCRES RÉDUCTEURS

PAR LA MÉTHODE DE LEHMANN

MODIFIÉE PAR M. MAQUENNE

Par MM. L. MASSOL et A. GALLEMAND

(TRAVAIL DE L'INSTITUT PASTEUR DE LILLE)

Les méthodes de dosage des sucres réducteurs sont nombreuses. La méthode de Soxhlet par pesée du cuivre est très précise, mais longue et délicate. La méthode de Violette, basée sur la décoloration de la liqueur de Fehling, est plus rapide, mais susceptible de causes d'erreurs. Elle oblige à opérer toujours sensiblement dans les mêmes conditions de concentration, et, en outre, elle devient inapplicable lorsqu'il se produit, pendant la réduction, des teintes verdâtres qui empêchent de saisir le moment de la décoloration.

La méthode de Lehmann, modifiée par M. Maquenne, évite la lenteur de la méthode pondérale ou l'appréciation incertaine de la décoloration de la liqueur de Fehling. Elle détermine, par la méthode iodométrique, le poids de cuivre non réduit de la liqueur cupro-potassique pour obtenir par différence le poids de cuivre réduit. Mais, puisqu'il n'y a pas proportionnalité entre le poids de cuivre réduit et le sucre réducteur, on est obligé, comme dans la méthode pondérale, d'employer des tables établies expérimentalement. Nous allons donner

plus loin ces tables et la méthode que nous avons suivie pour les établir.

Nous avons employé les liqueurs de Soxhlet ainsi composées :

1° 39,639 de sulfate de cuivre, en solution dans la quantité d'eau suffisante pour faire 500 centimètres cubes ;

2° 173 grammes de sel de Seignette et 51gr,6 de NaOH, complétés à 500 centimètres cubes.

De cette manière, la solution de sulfate de cuivre conserve un titre constant. On opère le mélange des deux solutions au moment de s'en servir, en versant la solution n° 2 dans la solution n° 1.

Nous prenons 10 centimètres cubes de chacune d'elles. La réaction s'effectue dans un Erlenmeyer de 125 centimètres cubes environ, fermé par un bouchon en caoutchouc à un trou muni d'un tube de verre pour diminuer l'évaporation et la rendre sensiblement égale d'un dosage à l'autre. On fait bouillir la liqueur et on ajoute de suite 20 centimètres cubes de la solution sucrée à essayer, contenant au plus 0,40 °/₀ de sucre réducteur. L'ébullition est maintenue deux minutes pour le glucose, le lévulose et le sucre interverti, quatre minutes pour le maltose (ces temps sont comptés à partir de l'instant où l'ébullition recommence après l'addition des 20 centimètres cubes de solution sucrée). On refroidit ensuite le matras dans l'eau courante et on ajoute 10 centimètres cubes d'acide sulfurique à 50 °/₀ en volume. On refroidit à nouveau et on ajoute 10 centimètres cubes d'une solution à 10 °/₀ d'iodure de potassium. Il se forme de l'iodure cuivreux avec le cuivre non réduit et il se sépare une quantité d'iode égale à celle contenue dans l'iodure cuivreux d'après la formule :

$$2SO^4Cu + 4KI = 2SO^4K^2 + Cu^2I^2 + I^2.$$

Il suffit alors de doser l'iode libre par l'hyposulfite de sodium en présence d'empois d'amidon comme indicateur pour pouvoir remonter au cuivre.

La solution d'hyposulfite est à 2 °/₀ environ : on la titre préalablement par rapport à la solution de sulfate de cuivre de titre rigoureusement établi par la méthode électrolytique. Supposons donc ce titre connu et égal à 39gr,639 de sulfate de cuivre pour 500 centimètres cubes. Cette solution renferme 17gr,61 de cuivre par litre. En titrant

notre solution d'hyposulfite par rapport à 10 centimètres cubes de cette solution cuprique, nous versons, par exemple, N centimètres cubes d'hyposulfite, 1 centimètre cube équivaut donc à $\frac{0^{gr},1761}{N}$ de cuivre. Après réduction de la liqueur cupro-potassique par le sucre considéré, nous ne versons plus que n centimètres cubes d'hyposulfite. La quantité de cuivre réduit est donc

$$[N - n]\frac{0,1761}{N} = p.$$

Nous préférons donner les poids de cuivre correspondant au sucre pour éviter de passer par la solution d'hyposulfite, qu'il est difficile de maintenir toujours au même titre.

Ainsi que l'a fait remarquer M. Maquenne, un dixième de centimètre cube de solution d'hyposulfite à 2 °/₀ correspond sensiblement à un tiers de milligramme de glucose. Comme, avec un peu d'habitude, on peut très bien apprécier la fin du dosage à une goutte près, il en résulte que la méthode permet d'évaluer un sixième de milligramme de glucose ; si on opère sur $0^{gr},050$, on a une approximation de 1/300.

Établissement des tables

Nous avons dans ce but employé des solutions de sucres réducteurs purs vérifiés par le polarimètre et par la réduction. En opérant avec des solutions sucrées de $0^{gr},05$ à $0^{gr},40$ pour 100 centimètres cubes, nous avons pu calculer le cuivre réduit correspondant. Nous étudierons simultanément le glucose, le lévulose et le sucre interverti, pour lesquels la durée d'ébullition est la même.

Les nombres que nous donnons sont la moyenne de nombreuses déterminations expérimentales corrigées par l'emploi d'une courbe construite de la façon suivante. Pour chaque concentration du liquide sucré, nous avons calculé le rapport du poids de cuivre réduit déterminé expérimentalement au poids de sucre employé. Ce rapport, multiplié par 100, représente ce que nous appellerons *le pouvoir réducteur absolu* du sucre à chaque concentration. On constate que

ces nombres varient; en portant en abcisses les concentrations de sucre et en ordonnées les pouvoirs réducteurs absolus, on obtient une courbe qui, par sa discontinuité, traduit nettement les plus faibles imperfections de dosages. Après rectification de cette courbe des pouvoirs réducteurs absolus, nous avons pu corriger les poids de cuivre réduit correspondant au poids du sucre essayé. Les corrections que nous avons faites sur les poids de cuivre varient de $0^{gr},0002$ à $0^{gr},0004$ et restent toujours inférieures aux différences des déterminations expérimentales.

Le tableau suivant donne les nombres obtenus par cette méthode. Les colonnes VIII et IX représentent les pouvoirs réducteurs relatifs du lévulose et du sucre interverti. Ce sont les rapports des poids de cuivre réduit par le lévulose ou le sucre interverti aux poids de cuivre réduit par le glucose à la même concentration.

Tableau général

SUCRE		CUIVRE RÉDUIT			POUVOIRS RÉDUCTEURS				
					absolus			relatifs	
pour cent	essayé	par le glucose	par le lévulose	par l'interverti	Glucose	Lévulose	Interverti	Lévulose	Interverti
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
gr	gr	gr	gr	gr					
0,40	0,080	0,147	0,1348	0,1414	183,75	168,5	176,75	0,917	0,962
0,35	0,070	0,1302	0,120	0,1255	186,0	171,43	179,29	0,922	0,964
0,30	0,060	0,1131	0,1038	0,1085	188,5	173,0	180,83	0,918	0,959
0,25	0,050	0,0954	0,0873	0,0911	190,8	174,6	182,2	0,915	0,954
0,20	0,040	0,0771	0,0708	0,0743	192,75	177,0	185,75	0,918	0,964
0,15	0,030	0,0583	0,0539	0,056	194,33	179,63	186,66	0,924	0,961
0,10	0,020	0,0393	0,0363	0,0378	196,5	181,5	189,0	0,924	0,962
0,05	0,010	0,0198	0,0183	0,019	198,0	183	190,0	0,924	0,959

Nous donnons à part les résultats que nous avons obtenus pour le maltose, en partant d'un produit préparé par nous-mêmes. Nous ferons remarquer qu'après des cristallisations très nombreuses dans l'alcool méthylique combinées avec des purifications par reprises dans l'alcool éthylique absolu, nous sommes parvenus à obtenir un produit dont la pureté, calculée par les tables de Wein ou par la formule polarimétrique de Meissl, différait toujours de 4 °/₀. Les

nombres de maltose anhydre que nous donnons sont déduits des tables de Wein.

Remarquons que, d'après notre définition même, nous ne pouvons plus calculer le pouvoir réducteur relatif au delà de la concentration de 0,40 °/₀, à ce moment le chiffre relatif au glucose étant impossible à déterminer, puisque la presque totalité du cuivre est précipitée.

MALTOSE ESSAYÉ	CUIVRE RÉDUIT	POUVOIRS RÉDUCTEURS	
		Absolu	Relatif
—	—	—	—
gr.	gr.		
0,0177	0,0217	122,9	0,630
0,0354	0,0431	121,75	0,628
0,053	0,0636	120	0,631
0,0707	0,0831	117,5	0,631
0,0883	0,1026	116,25	»
0,106	0,1227	115,75	»
0,1236	0,1428	115,5	»
0,1413	0,1628	115,25	»

Nous nous proposons, dans la suite, de revenir sur l'établissement d'une table pour le maltose, quand nous aurons levé les incertitudes que nous avons sur la valeur de notre produit.

Interprétation mathématique des résultats

Nous nous occuperons d'abord du glucose. Si, dans notre tableau général, nous considérons la colonne (V) des pouvoirs réducteurs absolus du glucose, nous constatons que lorsque la concentration du liquide essayé diminue de 0,05 °/₀, le pouvoir réducteur absolu augmente sensiblement de 2. Cette remarque va nous permettre d'établir la relation qui unit la quantité de glucose à la quantité de cuivre réduit en admettant qu'il y ait toujours proportionnalité dans les différents intervalles de concentration : ceci n'est du reste vérifié que dans les limites de concentration du tableau.

Pour la concentration de 0,40 °/₀, le pouvoir absolu est de 183,75
Pour la concentration de 0,05 °/₀, le pouvoir absolu est de 198,00

Pour une diminution de concentration de 0,35 °/₀, le pouvoir réducteur absolu augmente de 14,25

Pour une diminution de concentration de 0,05 °/₀, le pouvoir réducteur absolu augmente de 2,03

Il y a donc sensiblement proportionnalité, puisque cette augmentation de 2,03 se reproduit pour chaque intervalle du tableau. Étendons donc cette propriété à l'intérieur de chacun des intervalles, qui sont d'ailleurs assez rapprochés.

Soit x le poids de glucose, en grammes, contenu dans 20 centimètres cubes du liquide essayé et y le poids, en grammes, correspondant de cuivre réduit : 5 x représente le glucose de 100 centimètres cubes. A la concentration de 0,40 °/₀ le pouvoir réducteur absolu est égal à 183,75 (quantité de cuivre réduit par 100 de sucre). Pour une diminution de 0,35 dans la concentration, l'augmentation du pouvoir réducteur absolu est de 14,25 ; donc, pour une diminution de 1 dans la concentration, l'augmentation du pouvoir réducteur absolu est de $\frac{14,25}{0,35}$ et pour une concentration 5 x, comprise entre 0,05 et 0,40, la diminution de concentration étant $0,40 - 5x$, l'augmentation du pouvoir réducteur absolu est de $\frac{14,25\,(0,40-5x)}{0,35}$. Donc, à la concentration $5x$, le pouvoir réducteur absolu est de :

$$183,75 + \frac{14,25\,(0,40-5x)}{0,35};$$

cette expression nous représente, par définition, le cuivre réduit par 100 de sucre à la concentration $5x$. Pour 1 de sucre essayé, le poids de cuivre réduit est représenté par l'expression

$$\frac{183,75}{100} + \frac{(0,40-5x)\,14,25}{0,35 \times 100} = \frac{\text{P. R. A.}}{100}.$$

Pour x de sucre le poids de cuivre réduit, que nous avons appelé y, sera

$$y = x\left[\frac{183,75}{100} + \frac{(0,40-5x)\,14,25}{0,35 \times 100}\right].$$

Cette équation nous représente une conique qui est une parabole puisque le terme du second degré de l'équation est carré parfait.

Les calculs effectués, on a la fonction suivante :

$$y = 2,0003\,x - 2,0357\,x^2. \qquad (1)$$

Cette courbe passe par l'origine, son axe est parallèle à l'axe des y.

La tangente à l'origine est la droite représentée par l'équation

$$y = 2{,}0003\,x.$$

Remarquons que pour chaque valeur de y on peut tirer de l'équation deux valeurs positives de x. La plus petite racine convient seule à la portion de la courbe correspondant aux déterminations expérimentales.

Allihn avait exprimé la loi de réduction par la formule suivante :

$$y = \alpha x^2 + \beta x + \gamma.$$

Dans ce cas la parabole ne passe plus par l'origine.

Nous avons déterminé les coefficients α, β, γ pour rechercher l'équation qui nous donnerait les valeurs les plus approchées de nos déterminations expérimentales. Voici la méthode suivie : sachant, comme nous l'avons démontré, que la loi de réduction est représentée par une parabole, les huit déterminations de notre tableau général ci-dessus nous permettent d'écrire huit relations de la forme :

$$0{,}147 = 0{,}0064\alpha + 0{,}080\beta + \gamma.$$

Ces huit équations associées trois à trois représentent cinquante-six systèmes d'équation à trois inconnues (α, β, γ), nombre des combinaisons de huit objets trois à trois. Nous avons cru suffisant de résoudre quatre de ces systèmes convenablement choisis (c'est-à-dire formés par des déterminations assez espacées) et nous avons pris pour α, β, γ, la moyenne arithmétique des quatre valeurs trouvées. Nous avons alors établi l'équation suivante :

$$y = -2{,}37435\,x^2 + 2{,}04017\,x - 0{,}000734, \qquad (2)$$

équation différente de l'équation (1).

D'après son établissement elle lui est *à priori* préférable et les valeurs de y tirées en fonction d'x doivent se rapprocher davantage

de nos données expérimentales, comme on peut s'en convaincre à l'inspection du tableau ci-dessous.

SUCRE ESSAYÉ	CUIVRE RÉDUIT DÉTERMINÉ		
	par expérience	par équation I	par équation II
—	—	—	—
gr.	gr.	gr.	gr.
0,080	0,147	0,147	0,1473
0,070	0,1302	0,130	0,1304
0,060	0,1131	0,1127	0,1131
0,050	0,0954	0,0949	0,0953
0,040	0,0771	0,0768	0,0771
0,030	0,0583	0,0582	0,0583
0,020	0,0393	0,0392	0,0391
0,010	0,0198	0,0198	0,0194

Dans la pratique, pour établir une table, il suffirait donc de faire trois déterminations expérimentales assez éloignées. On calculerait α, β, γ et, à l'aide de l'équation formée, on aurait les valeurs intermédiaires du tableau. Plusieurs déterminations expérimentales permettraient ensuite de contrôler l'exactitude de la formule.

La deuxième équation que nous venons d'établir peut se rapprocher de celle d'Allihn. En effet, en prenant le gramme pour unité cette dernière peut s'écrire :

$$y = -0{,}7576x^2 + 2{,}0522x - 0{,}0025647.$$

Cette formule a été établie en opérant avec 30 centimètres cubes de solution blanche, 30 centimètres cubes de solution bleue, 25 centimètres cubes de solution sucrée et 60 centimètres cubes d'eau. Si nous la comparons à notre équation (2) nous remarquerons que le coefficient d'x (β) diffère peu du nôtre, α celui d'x^2 est sensiblement le tiers du nôtre et γ (le terme constant) est à peu près le triple de celui de notre équation. Nous avons cherché s'il n'y avait pas là une relation. On peut d'abord remarquer que nous employons, dans nos déterminations, trois fois moins de réactifs qu'Allihn. Nous avons alors fait des dosages en doublant, en triplant nos solutions cuprique et sucrée sans en changer la concentration. Dans ces conditions nous avons constaté que, pour une concentration donnée de la liqueur sucrée, le pouvoir réducteur absolu du sucre restait sensiblement

constant quand on doublait ou triplait les volumes de liqueurs cuprique et sucrée.

Interprétons ce fait analytiquement :

Dans le premier cas où nous employons 10 centimètres cubes de liqueur bleue, 10 centimètres cubes de liqueur blanche et 20 centimètres cubes de solution sucrée, la réduction s'opère d'après la formule suivante :

$$y = \alpha x^2 + \beta x + \gamma.$$

Dans le second et le troisième cas, d'une façon générale, si on emploie n fois le volume initial de solutions cuprique et sucrée, on a, puisque le cuivre précipité par nx de glucose essayé est ny (le pouvoir réducteur absolu restant le même, la loi de réduction étant toujours représentée par une parabole) :

$$ny = \alpha' n^2 x^2 + \beta' nx + \gamma'.$$

Multiplions notre première relation par n, il vient :

$$ny = \alpha n x^2 + \beta n x + \gamma n.$$

D'où

$$\alpha' n^2 x^2 + \beta' nx + \gamma' \equiv \alpha n x^2 + \beta n x^2 + \gamma n.$$

Ceci quel que soit x dans l'intervalle 0 à $0^{gr},080$. Donc

$$\alpha' n^2 = \alpha n \qquad \alpha' = \frac{\alpha}{n}$$

$$\beta' n = \beta n \qquad \beta' = \beta$$

$$\gamma' = \gamma n \qquad \gamma' = \gamma n.$$

Si $n = 3$, ce qui est le cas des déterminations d'Allihn, on a l'équation

$$y = \frac{\alpha}{3} x^2 + \beta x + 3\gamma.$$

Comme nous l'avons vu plus haut, notre formule traitée de cette manière nous redonne la formule d'Allihn aux différences d'expérience près : du reste, sa dilution n'est pas tout à fait la nôtre. Le volume total de ses liqueurs au lieu d'être égal à 120 centimètres cubes (comme l'exige notre raisonnement) est de 145 centimètres cubes. La propriété n'en existe pas moins.

On peut traduire ce qui précède en disant que ces paraboles coupent respectivement l'axe des y aux points $y = \gamma$, $y = 3\gamma$. En ces points leurs tangentes sont parallèles. De plus leurs paramètres sont respectivement $p = \frac{1}{2\alpha}$, $p' = \frac{3}{2\alpha}$. La parabole d'Allihn aurait donc un paramètre triple de la nôtre. On peut remarquer que plus les quantités de liqueurs augmentent, plus le paramètre augmente. Si nous supposons que toutes ces paraboles soient transportées à l'origine, elles y auront toutes une même tangente commune, et pour des quantités de liqueurs infinies la loi de réduction serait représentée par cette tangente

$$y = \beta x.$$

Dans ce cas seulement le poids de cuivre précipité serait donc proportionnel au poids du sucre employé. On voit par ce qui précède qu'il est d'autant plus nécessaire de se servir de tables, pour la détermination quantitative des sucres, qu'on opère sur des volumes plus faibles de liqueurs.

Nous avons tenu à mettre ces propriétés en évidence pour bien faire saisir la différence qui existe entre la formule d'Allihn et la nôtre.

Nous avons calculé avec notre équation (2) les poids de cuivre correspondant à des poids connus de glucose, de milligramme en milligramme. Nous donnons cette table avec les calculs d'interpolations qui permettront de calculer de suite les valeurs intermédiaires.

Lévulose et sucre interverti

Nous avons aussi cherché une expression analytique pour exprimer la loi de réduction pour le lévulose et le sucre interverti. Nous aurions pu procéder comme pour le glucose, mais la méthode était trop longue. Nous avons préféré utiliser une propriété qui ressort de notre tableau général. En effet, si nous considérons les colonnes VIII et IX qui expriment les pouvoirs réducteurs relatifs du lévulose et du sucre interverti, nous constatons que ces nombres sont sensiblement indépendants de la concentration du liquide sucré ; la moyenne

est de 0,920 pour le lévulose et de 0,960 pour le sucre interverti. Nous en concluons que les courbes représentatives des poids de cuivre réduit en fonction des poids de sucre sont des courbes dont toutes les ordonnées sont égales aux ordonnées correspondantes de la parabole du glucose multipliées par 0,920 pour le lévulose et 0,960 pour le sucre interverti ; ces courbes qui sont semblables sont donc des paraboles. Cherchons leurs équations

Pour le glucose nous avons

$$y = \alpha x^2 + \beta x + \gamma ;$$

pour l'un quelconque de nos sucres considérés :

$$y' = \alpha' x^2 + \beta' x + \gamma',$$

la quantité x des deux sucres employés étant la même.
Or, d'après ce que nous avons fait remarquer, on a, quel que soit x,

$$\frac{y'}{y} = \frac{\alpha' x^2 + \beta' x + \gamma,}{\alpha x^2 + \beta x + \gamma} = P,$$

(P représentant le pouvoir réducteur relatif du sucre réducteur considéré).

D'où

$$x^2 [\alpha' - \alpha P] + x [\beta' - \beta P] + \gamma' - \gamma P = 0 ;$$

d'où

$$\alpha' - \alpha P = 0 \qquad \alpha' = \alpha P$$
$$\beta' - \beta P = 0 \qquad \beta' = \beta P$$
$$\gamma' - \gamma P = 0 \qquad \gamma' = \gamma P.$$

Les coefficients de l'équation de notre nouvelle parabole sont donc égaux aux coefficients de l'équation de la parabole du glucose multipliés par le pouvoir réducteur relatif du sucre considéré.

Nous avons les formules suivantes :

Pour le lévulose :

$$y = -2,1844 x^2 + 1,8769 x - 0,0006753 ;$$

Pour le sucre interverti :

$$y = -2,27938 x^2 + 1,9585 x - 0,0007046.$$

Une quelconque de ces paraboles est telle que son paramètre est

Table pour le glucose (DT représente la différence tabulaire)

SUCRE en milligrammes	CUIVRE en milligrammes	D T	CALCULS d'interpolations		SUCRE en milligrammes	CUIVRE en milligrammes	D T	CALCULS d'interpolations		SUCRE en milligrammes	CUIVRE en milligrammes	D T	CALCULS d'interpolations	
4	7,4		DT = 2		31	60,2	1,9			57	107,8	1,7	DT = 1,7	
5	9,4	2,0	0,1	0,05	32	62,1	1,9			58	109,6	1,8	0,1	0,059
6	11,4	2	0,2	0,1	33	64,0	1,9			59	111,4	1,8	0,2	0,12
7	13,4	2	0,3	0,15	34	65,9	1,9			60	113,1	1,7	0,3	0,18
8	15,4	2	0,4	0,20	35	67,8	1,9			61	114,9	1,8	0,4	0,24
9	17,4	2	0,5	0,25	36	69,6	1,8			62	116,6	1,7	0,5	0,29
10	19,4	2	0,6	0,30	37	71,5	1,9			63	118,4	1,8	0,6	0,35
11	21,4	2	0,7	0,35	38	73,3	1,8			64	120,1	1,7	0,7	0,41
12	23,4	2	0,8	0,40	39	75,2	1,9			65	121,8	1,7	0,8	0,47
13	25,4	2	0,9	0,45	40	77,1	1,9			66	123,6	1,8	0,9	0,52
14	27,3	1,9	1,0	0,50	41	78,9	1,8	D = 1,8		67	125,3	1,8	1,0	0,59
15	29,3	2	DT = 1,9		42	80,8	1,9	0,1	0,055	68	127,0	1,7		
16	31,2	1,9	0,1	0,05263	43	82,6	1,8	0,2	0,11	69	128,7	1,7	DT = 1,6	
17	33,2	2	0,2	0,10	44	84,4	1,8	0,3	0,17	70	130,4	1,7	0,1	0,0625
18	35,2	2	0,3	0,16	45	86,3	1,9	0,4	0,22	71	132,1	1,7	0,2	0,12
19	37,1	1,9	0,4	0,21	46	88,1	1,8	0,5	0,28	72	133,8	1,7	0,3	0,19
20	39,1	2	0,5	0,26	47	89,9	1,8	0,6	0,33	73	135,5	1,7	0,4	0,25
21	41,1	2	0,6	0,31	48	91,7	1,8	0,7	0,39	74	137,2	1,7	0,5	0,31
22	43,0	1,9	0,7	0,37	49	93,5	1,8	0,8	0,44	75	138,9	1,7	0,6	0,37
23	44,9	1,9	0,8	0,42	50	95,3	1,8	0,9	0,50	76	140,6	1,7	0,7	0,44
24	46,9	2	0,9	0,47	51	97,1	1,8	1,0	0,55	77	142,3	1,7	0,8	0,50
25	48,8	1	1,0	0,526	52	98,9	1,8			78	143,9	1,6	0,9	0,56
26	50,7	1,9			53	100,7	1,8			79	145,6	1,7	1,0	0,62
27	52,6	1,9			54	102,5	1,8			80	147,3	1,7		
28	54,5	1,9			55	104,3	1,8			81	148,9	1,6		
29	56,4	1,9			56	106,1	1,8			82	150,6	1,7		
30	58,3	1,9												

Table pour le lévulose

SUCRE en milli-grammes	CUIVRE en milli-grammes	D T	CALCULS d'interpolations	
4	6,8			
5	8,7	1,9		
6	10,5	1,8	DT = 1,9	
7	12,3	1,8	0,1	0,05263
8	14,2	1,9	0,2	0,10
9	16,0	1,8	0,3	0,16
10	17,9	1,9	0,4	0,21
11	19,7	1,8	0,5	0,26
12	21,5	1,8	0,6	0,31
13	23,4	1,9	0,7	0,37
14	25,2	1,8	0,8	0,42
15	27,0	1.9	0,9	0,47
16	28,8	1,8	1,0	0,526
17	30,6	1,8		
18	32,4	1,8	DT = 1,8	
19	34,1	1,7	0,1	0,055
20	36,0	1,9	0,2	0,11
21	37,8	1,8	0,3	0,17
22	39,6	1,8	0,4	0,22
23	41,3	1,7	0,5	0,28
24	43,1	1,8	0,6	0,33
25	44,9	1,8	0,7	0,39
26	46,6	1,7	0,8	0,44
27	48,4	1,8	0,9	0,50
28	50,1	1,7	1,0	0,55
29	51,9	1,8		
30	53,7	1,8		

SUCRE en milli-grammes	CUIVRE en milli-grammes	D T	CALCULS d'interpolations	
31	55,4	1,7		
32	57,1	1,7		
33	58,9	1,8		
34	60,6	1,7	DT = 1,7	
35	62,4	1,8	0,1	0,059
36	64,0	1,6	0,2	0,12
37	65,8	1,8	0,3	0,18
38	67,4	1,6	0,4	0,24
39	69,2	1,8	0,5	0,29
40	70,9	1,7	0,6	0,35
41	72,6	1,7	0,7	0,41
42	74,3	1,7	0,8	0,47
43	76,0	1,7	0,9	0,52
44	77,6	1,6	1,0	0,59
45	79,4	1,8		
46	81,1	1,7	DT = 1,6	
47	82,7	1,7	0,1	0,0625
48	84,4	1,6	0,2	0,12
49	86,0	1,7	0,3	0,19
50	87,7	1,7	0,4	0,25
51	89,3	1,6	0,5	0,31
52	91,0	1,7	0,6	0,37
53	92,6	1,6	0,7	0,44
54	94,3	1,7	0,8	0,50
55	96,0	1,7	0,9	0,56
56	97,6	1,6	1,0	0,62

SUCRE en milli-grammes	CUIVRE en milli-grammes	D T	CALCULS d'interpolations	
57	99,2	1,6		
58	100,8	1,6		
59	102,5	1,7		
60	104,1	1,6		
61	105,7	1,6		
62	107,3	1,6		
63	108,9	1,6		
64	110,5	1,6	DT = 1,5	
65	112,1	1,6	0,1	0,066
66	113,7	1,6	0,2	0,13
67	115,3	1,6	0,3	0,20
68	116,8	1,5	0,4	0,26
69	118,4	1,6	0,5	0,33
70	120,0	1,6	0,6	0,40
71	121,5	1,5	0,7	0,46
72	123,1	1,6	0,8	0,53
73	124,7	1,6	0,9	0,59
74	126,2	1,5	1,0	0,66
75	127,8	1,6		
76	129,3	1,5		
77	130,9	1,6		
78	132,4	1,5		
79	133,9	1,5		
80	135,5	1,6		
81	137,0	1,5		
82	138,5	1,5		

Table pour le sucre interverti

SUCRE en milligrammes	CUIVRE en milligrammes	D T	CALCULS d'interpolations	
4	7,1			
5	9,0	1,9	DT = 1,9	
6	10,9	1,9	0,1	0,05263
7	12,9	2,0	0,2	0,10
8	14,8	1,9	0,3	0,16
9	16,7	1,9	0,4	0,21
10	18,6	1,9	0,5	0,26
11	20,5	1,9	0,6	0,31
12	22,5	2,0	0,7	0,37
13	24,4	1,9	0,8	0,42
14	26,2	1,8	0,9	0,47
15	28,1	1,9	1,0	0,526
16	30,0	1,9		
17	31,9	1,9	DT = 1,8	
18	33,8	1,9	0,1	0,055
19	35,6	1,8	0,2	0,11
20	37,5	1,9	0,3	0,17
21	39,4	1,9	0,4	0,22
22	41,3	1,9	0,5	0,28
23	43,1	1,8	0,6	0,33
24	45,0	1,9	0,7	0,39
25	46,8	1,8	0,8	0,44
26	48,7	1,9	0,9	0,50
27	50,5	1,8	1,0	0,55
28	52,3	1,8		
29	54,1	1,8		
30	56,0	1,9		

SUCRE en milligrammes	CUIVRE en milligrammes	D T	CALCULS d'interpolations	
31	57,8	1,8		
32	59,6	1,8		
33	61,4	1,8		
34	63,3	1,9	DT = 1,7	
35	65,1	1,8	0,1	0,059
36	66,8	1,7	0,2	0,12
37	68,6	1,8	0,3	0,18
38	70,3	1,7	0,4	0,24
39	72,2	1,9	0,5	0,29
40	74,0	1,8	0,6	0,35
41	75,7	1,7	0,7	0,41
42	77,6	1,9	0,8	0,47
43	79,3	1,7	0,9	0,52
44	81,0	1,7	1,0	0,59
45	82,8	1,8		
46	84,6	1,8	DT = 1,6	
47	86,3	1,7	0,1	0,0625
48	88,0	1,7	0,2	0,12
49	89,8	1,8	0,3	0,19
50	91,5	1,7	0,4	0,25
51	93,2	1,7	0,5	0,31
52	94,9	1,7	0,6	0,37
53	96,7	1,8	0,7	0,44
54	98,4	1,7	0,8	0,50
55	100,1	1,7	0,9	0,56
56	101,9	1,8	1,0	0,62

SUCRE en milligrammes	CUIVRE en milligrammes	D T	CALCULS d'interpolations	
57	103,5	1,6		
58	105,2	1,8		
59	106,9	1,7		
60	108,6	1,7		
61	110,3	1,7		
62	111,9	1,6		
63	113,7	1,8		
64	115,3	1,6		
65	116,9	1,6		
66	118,7	1,8		
67	120,3	1,6		
68	121,9	1,6		
69	123,5	1,6	DT = 1,5	
70	125,2	1,7	0,1	0,066
71	126,8	1,6	0,2	0,13
72	128,4	1,6	0,3	0,20
73	130,1	1,7	0,4	0,26
74	131,7	1,6	0,5	0,33
75	133,3	1,6	0,6	0,40
76	135,0	1,7	0,7	0,46
77	136,6	1,6	0,8	0,53
78	138,1	1,5	0,9	0,59
79	139,8	1,7	1,0	0,66
80	141,4	1,6		
81	142,9	1,5		
82	144,6	1,7		

égal à celui de la parabole du glucose divisé par le pouvoir réducteur relatif du sucre auquel elle se rapporte.

De plus, les coefficients angulaires des tangentes aux points $y = \gamma$ où ces courbes coupent l'axe des y sont égaux au coefficient angulaire de la tangente analogue de la parabole du glucose, multiplié respectivement par les pouvoirs réducteurs relatifs du lévulose et du sucre interverti.

Nous donnons dans le tableau ci-dessous les nombres calculés par ces deux nouvelles formules et nous les comparons à ceux trouvés expérimentalement.

SUCRE ESSAYÉ	CUIVRE RÉDUIT par le lévulose		CUIVRE RÉDUIT par le sucre interverti	
	Trouvé	Calculé	Trouvé	Calculé
—	—	—	—	—
gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
0,080	0,1348	0,1355	0,1414	0,1414
0,070	0,120	0,120	0,1255	0,1250
0,060	0,1038	0,1041	0,1085	0,1086
0,050	0,0873	0,0877	0,0911	0,0915
0,040	0,0708	0,0709	0,0743	0,0740
0,030	0,0539	0,0537	0,0560	0,0560
0,020	0,0363	0,036	0,0378	0,0376
0,010	0,0183	0,0179	0,0190	0,0187

Nous remarquons que les poids de cuivre calculés par nos deux formules sont égaux en plusieurs points à ceux déterminés par l'expérience. On peut donc admettre l'exactitude de ces deux formules et calculer deux tables analogues à celle du glucose. Ce sont d'ailleurs les nombres de cette dernière qui ont été multipliés par les pouvoirs réducteurs relatifs. Nous donnons ces deux tables pour éviter tout calcul.

En résumé, pour rendre plus courant l'emploi de la méthode de Lehmann, qui est sensible et précise, nous proposons l'usage de nos tables construites pour le glucose, le lévulose et le sucre interverti.

Nous faisons remarquer, en terminant, qu'elles ne donneront des renseignements précis qu'autant qu'on se placera dans des conditions identiques à celles dans lesquelles elles ont été établies.

ALIMENTATION RATIONNELLE

DE LA VACHE LAITIÈRE

CONTROLE DE SON RENDEMENT [1]

I. — A quelles influences la production laitière est-elle soumise ?

Il n'est pas toujours exact de considérer l'alimentation comme le principal moyen de perfectionnement dont dispose l'agriculteur pour exploiter rationnellement le bétail. *En ce qui concerne tout spécialement la vache laitière, on doit, en effet, se préoccuper, tout d'abord, de l'individualité, de la race et des variations de la sécrétion lactée.* Ce sont là, conclut O. Kellner, avec l'autorité que l'on sait, dans son dernier et magistral ouvrage sur l'alimentation du bétail, les facteurs qui influent certainement en premier lieu sur la production laitière. *Quant à l'apport alimentaire, son effet est plutôt secondaire.*

Les écarts de production ou de teneur du lait en ses principes normaux sont dus bien plus aux aptitudes ethnographiques et individuelles et aux variations normales de la lactation chez le même individu qu'au régime. Celui-ci modifie non pas le pourcentage des composants du lait, mais parfois la composition de certains de ces principes, des matières grasses, tout particulièrement, dont la

1. Communication lue au congrès de laiterie de 1905, par J. Alquier, ingénieur-agronome, expert près les tribunaux de la Seine, attaché au laboratoire de recherches de la Compagnie générale des voitures.

valeur au point de vue de la fabrication et de la qualité du beurre se trouve ainsi sujette à de petites variations. On a, par exemple, remarqué que le passage du pâturage à la stabulation, de même que certains changements d'alimentation influent sur le taux des acides gras volatils et sur le point de fusion du beurre. Mais ce sont là des conséquences du changement de régime qui, dans la pratique, ne constituent pas une amélioration très digne d'intérêt. En présence de ces faits sans cesse confirmés, il faut logiquement reconnaître que, pour produire rationnellement du lait, il n'est pas nécessaire de se préoccuper outre mesure du choix des aliments.

II. — Des progrès à réaliser dans le rationnement de la vache laitière

Est-ce à dire que, dans ce cas, l'alimentation ne mérite pas toute l'attention de l'agriculteur ? Non, certes. Son influence cesse en effet d'être secondaire dès que la ration n'est pas judicieusement établie. L'alimentation irraisonnée donne lieu aux plus graves mécomptes. Il importe que *la vache reçoive exactement ce dont elle a besoin pour s'entretenir et satisfaire à la production maxima possible au moment considéré.*

Aussi sa ration doit-elle être calculée bien plus rigoureusement que celle de n'importe lequel des autres animaux mis en exploitation.

Dans la pratique, en est-il toujours ainsi ? Fort souvent la ration est *en réalité insuffisante,* principalement en matières albuminoïdes et minérales que le lait exporte par grandes quantités, et cela bien que l'animal soit *abondamment nourri en apparence.* Il est malheureusement de règle dans les campagnes que la vache doit se contenter des fourrages les plus grossiers et les moins riches récoltés à la ferme, alors que l'emploi des aliments concentrés du commerce s'impose dans la plupart des cas pour parfaire la quantité nécessaire de principes nutritifs azotés et minéraux. Qu'en résulte-t-il ? L'animal ne produit pas ce qu'il devrait. La période de lactation active et régulière diminue de durée. Mais peu importe à celui qui ne comprend pas qu'une dépense supplémentaire peut rapporter dans la

suite, et puis, comme dit le proverbe, « Vache de loin a assez de lait ». Le mauvais rendement n'est du reste qu'un inconvénient minime à côté des conséquences de l'état d'épuisement auquel en arrive l'animal dont la production n'est plus proportionnée à la recette alimentaire. La vache insuffisamment nourrie prend sur sa propre substance, afin de maintenir au lait sa teneur en azote et en matières minérales. Le muscle proprement dit fond, le sang s'appauvrit au détriment de la santé et le terrain se trouve finalement on ne peut mieux préparé pour les maladies infectieuses. Il est certain qu'*on réaliserait dans la prophylaxie de la tuberculose un progrès considérable, si l'on songeait à prévenir le mal en signalant aux intéressés les animaux insuffisamment nourris.* Est-ce d'un bon calcul de n'intervenir que pour enrayer la contagion ?

Que se passe-t-il dans le cas contraire, lorsque *la vache reçoit plus qu'il n'est nécessaire* pour subvenir au rendement maximum que comportent son individualité et l'activité de ses mamelles au moment considéré ? Outre que, d'une façon générale, tout apport alimentaire trop abondant constitue une dépense inutile, le superflu, dans le cas particulier de la vache laitière, présente de sérieux inconvénients. L'animal engraisse ; or, l'on a constaté que l'embonpoint est défavorable à la production du lait, à la qualité des veaux et, de plus, que la vache grasse est prédisposée aux accidents lors du part.

Nous sommes suffisamment fixés sur les dangers d'une nourriture insuffisante ou surabondante. Les conclusions pratiques à tirer de ces premières notions fondamentales sur l'alimentation de la vache laitière sont les suivantes :

1° *La ration, en théorie, doit être suffisante pour couvrir exactement les dépenses maxima de l'animal au moment considéré. Il est prudent, dans la pratique, de la donner légèrement copieuse, mais pas au point cependant de provoquer un engraissement notable ;*

2° *En présence du peu d'influence du régime sur la quantité et la qualité d'une production normale* et nullement exagérée intentionnellement (régime aqueux intensif), *il suffit de se laisser guider uniquement dans le choix des aliments par la valeur nutritive et économique de ces derniers, et, à valeur égale, par leurs propriétés appétentes et condimentaires.* Les distinctions que l'on a voulu faire

entre les terres à fromage et les terres à beurre, de même que les classifications des fourrages d'après leurs qualités lactogènes, ne peuvent qu'être artificielles.

Nous basant maintenant sur ce que l'apport alimentaire est suffisant, quand on le proportionne à la dépense actuelle de l'animal, ainsi que nous venons de le dire en d'autres termes, nous allons établir aisément qu'il est nécessaire de calculer séparément la ration de chaque animal. Opérer autrement reviendrait à nier les influences qui, en l'état actuel de nos connaissances raisonnées, agissent certainement avant toutes les autres sur la production laitière. Les différences de race et d'individualité, dont les effets aboutissent à constituer la spécialité de la production particulière à chaque animal, ne seraient en effet que des mots, contrairement aux croyances et aux constatations des praticiens eux-mêmes, si toutes les bêtes laitières transformaient de même les fourrages. Les quantités d'aliments ingérés par deux vaches, fussent-elles du même poids, sont très rarement entre elles dans le même rapport que les volumes de lait ou les poids de beurre produits par ces deux vaches. Généralement, l'une d'elles utilise les aliments mieux que l'autre. Aussi est-il logique que le rationnement de la vache soit individuel, d'où cette conséquence que chaque animal doit être mis à l'étable dans l'impossibilité de toucher à la ration de ses voisins.

Si nous faisons maintenant intervenir l'influence des variations normales de la sécrétion, susceptibles d'agir sur la production autant que la race et l'individualité, nous nous rendons compte que le rationnement doit en outre varier comme l'activité fonctionnelle de la mamelle. L'apport alimentaire cesserait d'être un contrepoids de la dépense, aussi parfaitement équilibré qu'il est nécessaire, s'il restait le même depuis le début de la lactation, alors que la sécrétion est maxima, jusqu'au moment où le rendement devient par trop inférieur pour être productif. Ces considérations *condamnent le système si souvent appliqué de la ration moyenne calculée pour un rendement moyen et distribuée sans distinction à toutes les laitières d'une même exploitation*. Il est impossible que de la sorte on n'arrive pas fatalement aux rationnements insuffisants ou surabondants précédemment critiqués.

Aux règles générales déjà formulées nous allons donc ajouter les suivantes dont l'importance n'est pas moindre :

1° *Le rationnement de la vache laitière doit être individuel ;*

2° *La valeur nutritive de la ration individuelle doit varier avec le rendement, chaque période de lactation exigeant pour une vache donnée un apport alimentaire différent.*

Voici par exemple deux rations composées des mêmes aliments et proportionnées aux quantités de lait produites. Un apport d'au moins 90 grammes d'albuminoïdes digestibles par kilogramme de lait obtenu étant en général nécessaire, il s'ensuit que la *relation nutritive de la ration de la vache laitière doit être d'autant plus large que le rendement est plus élevé et, de plus, qu'il est impossible d'établir une ration suffisante pour équilibrer les dépenses d'un grand rendement sans recourir aux aliments concentrés, riches en matières azotées.*

		POUR UNE PRODUCTION DE LAIT	
		A de 15 kilogr.	B de 10 kilogr.
Tourteau de colza		0,500	0,500
— de coton		1,500	0,500
— de tournesol		1,000	0,500
Blé		1,500	1,000
Betteraves fourragères		10,000	10,000
Foin		3,000	3,000
Paille		5,000	6,000
Teneur de la ration en principes nutritifs digestibles	Matières azotées	1,514	0,941
	— grasses	0,417	0,238
	— hydrocarbonées	5,089	5,344
Sommes des principes nutritifs digestibles [1]		8,093	6,845
Relation nutritive	Matières azotées digestibles / — non azotées digestibles	$\frac{1}{4,3}$	$\frac{1}{6,2}$

Ce ne sont pas là des données quelconques, mais des types de rations résultant d'expériences faites en Danemark et reconnues suffisantes par une longue pratique. Nous ne discuterons pas hypothétiquement en raisonnant sur ce tableau comparatif.

1. Les matières grasses ont été multipliées par 2, 4 pour être transformées en hydrocarbonés.

Considérons deux vaches adultes de même taille, de même poids vif, donnant l'une 15 kilogr. de lait, par transformation de la ration A, et l'autre 10 kilogr. seulement, en échange de la ration B. Ces deux rations sont théoriquement et pratiquement suffisantes, nous le savons, c'est-à-dire que, dans les deux cas, elles permettent à l'animal de s'entretenir et de produire les poids du lait indiqués. La quantité de principes nutritifs digestibles nécessaires au simple entretien du corps est la même ou à peu près pour ces deux vaches, du même poids. Supposons-la de $4^{kg},400$, afin de fixer les idées. La partie productive de la ration, celle qui pourra être convertie en lait, sera alors pour la vache A de $(8^{kg},093 - 4^{kg},4) = 3^{kg},69$ et, pour la seconde, de $(6^{kg},84 - 4^{kg},4) = 2^{kg},44$. Comme l'utilisation de l'apport alimentaire, en vue d'une production quelconque, est de toute évidence proportionnelle au rapport de la partie productive de la ration (ration totale moins la ration d'entretien) à la ration totale [1], les coefficients d'utilisation seront ici de :

Pour la vache A fournissant 15 kilogr. de lait . $\frac{3^{kg},69}{8\ \ ,09} = 0,45.$

Pour la vache B fournissant 10 kilogr. de lait . $\frac{2^{kg},44}{6\ \ ,84} = 0,35.$

Le coefficient de la vache A dépasse celui de la vache B et la différence serait encore plus grande si la vache A, la meilleure laitière des deux, produisait plus de lait et recevait, par conséquent, une ration encore plus forte. Inutile de le démontrer.

Cette discussion n'était pas inutile. Elle nous conduit à formuler un principe qui semble pouvoir servir de base fondamentale à la production rémunératrice du lait :

L'utilisation des aliments par la vache laitière, nourrie rationnellement, c'est-à-dire conformément aux règles précédemment énoncées, *est d'autant plus élevée que la vache est meilleure laitière,* ou, en d'autres termes, rendue plus apte à la production maxima par sa race et son individualité.

---

1. Nous parlons ici de rations digestibles (rations totales ou d'entretien ou de production).

III. — Contrôle rationnel du rendement de la vache

La tactique du producteur de lait doit par conséquent se borner exclusivement au choix judicieux de son bétail et à l'élimination de tous les animaux à faible rendement. Comment distinguer la bonne laitière ou la bonne beurrière? Il n'existe qu'un moyen, enseigne-t-on communément. C'est *l'inspection de l'extérieur de l'animal.* Pour l'œil exercé, l'aptitude à la production serait donc chose apparente. Sans vouloir retirer toute compétence et toute perspicacité aux partisans convaincus des sélections opérées d'après les caractères extérieurs et sans nier pour cela les relations qui existent certainement entre la conformation de l'animal, la beauté des pis, le développement des écussons, l'abondance des sécrétions, la couleur des muqueuses, la finesse de la peau, etc., etc., et les qualités laitières, il semble difficile d'admettre que tout le monde voit et, surtout, conclut de même sur ces différents points. Les discussions auxquelles donne lieu chaque jour la méthode des caractères extérieurs ne suffisent-elles pas du reste à démontrer qu'elle a des *incertitudes?*

Il existe un système qui permet de déceler au contraire avec *certitude* les bonnes laitières : c'est celui qui consiste à *contrôler* la production du lait comme on doit suivre toute entreprise industrielle, c'est-à-dire en enregistrant la qualité, la quantité, la valeur économique d'une part des matières premières à transformer et, d'autre part, des produits résultant de cette transformation. *Le contrôle laitier doit par conséquent porter simultanément sur l'apport alimentaire et sur le rendement brut total du lait, avec examen de la qualité de ce dernier.* Inutile d'ajouter que l'influence indéniable de l'individualité et des variations de la lactation exige que ce contrôle soit *individuel et continu.*

En ce qui concerne l'apport alimentaire, si l'on remarque que la même somme de principes nutritifs peut être donnée sous des formes variées, on entrevoit de suite la nécessité de l'exprimer, lors de sa détermination, en unités de même nature, quelles que soient la qualité et la quantité des composants de la ration. Faute de quoi il deviendrait tout à fait impossible de comparer utilement les divers

rendements d'une même vache ou d'un troupeau nourris suffisamment, cela va de soi, mais au moyen d'aliments différents et par conséquent d'une valeur alimentaire très différente.

Le point délicat n'est pas de choisir l'unité nutritive, car il suffit de convenir qu'elle est par exemple équivalente à 1 kilogr. de son de blé. La difficulté consiste à passer des aliments usuels du bétail à l'aliment étalon, ce qui exige l'établissement des poids des divers aliments qui, introduits dans la ration de la vache laitière, ont la même valeur physiologique ou, en termes plus simples, la même aptitude à se transformer en un même poids de lait. Nous n'avons pas à exposer ici les différentes méthodes de comparaison des aliments, il nous suffit de savoir que l'on possède déjà de nombreuses données sur l'alimentation de la vache laitière. Le tableau suivant nous le prouve amplement.

Poids équivalents suivant lesquels les aliments doivent se substituer dans la ration de la vache laitière, pour ne pas modifier le rendement.

Tourteau de coton décortiqué	0kg,700
— d'arachides décortiqués	0 ,700
— de sésame	0 ,700
— de palme	0 ,750
— de lin	0 ,750
— de tournesol	0 ,750
Blé	1 ,000
Son de blé	1 ,000
Seigle	1 ,000
Son de seigle	1 ,000
Maïs	1 ,000
Grains mélangés	1 ,000
Farine de riz	1 ,000
Tourteau de cocos	1 ,000
— de colza	1 ,000
Farine de palme mélassée	1 ,000
Radicelles d'orge	1 ,000
Drèches de brasserie sèches	1 ,000
Drèches de distillerie sèches	1 ,000
Cossettes sèches de betteraves	1 ,250
Mélasse	2 ,000
Foin de trèfle	2 ,000
Lait complet [1]	2 ,000

1. Suivant la qualité.

Foin de prairie (1).	2,5 à 4kg,000
Pommes de terre	4 ,000
Paille (1).	5 à 6 ,000
Lait écrémé	6 ,000
Carottes (1)	7 à 8 ,000
Fourrages verts (1).	8 à 10 ,000
Betteraves fourragères	10 ,000
Navets et turneps.	12 ,000
Petit-lait	12 ,000
Feuilles de betteraves	15 ,000
Cossettes de betteraves humides . . .	15 ,000

Deux à quatre heures de pâturage (1).

Sans doute il n'a jamais été dans la pensée de ceux qui, grâce à une longue et patiente collaboration, sont parvenus à dresser de semblables échelles de comparaison qu'il fallait reconnaître à ces chiffres une valeur immuable. L'uniformité absolue d'utilisation des aliments est théoriquement impossible avec l'individualité, nous le savons, mais enfin de ce qu'une formule n'a pas la généralité d'une loi, il ne s'ensuit nullement qu'elle ne puisse guider ceux qui l'appliquent avec intelligence, surtout lorsqu'elle est le résultat moyen de multiples expériences pratiques et de laboratoire. Cette réserve faite, nous pouvons, en l'état actuel de nos connaissances, nous considérer sans arrière-pensée comme suffisamment documentés pour apprécier avec une approximation suffisante et comparer utilement entre elles les valeurs nutritives des rations les plus diverses que l'on peut donner à la vache laitière.

Passons aux *sorties* à inscrire vis-à-vis des *entrées*, exprimées en bloc suivant la méthode que nous venons d'indiquer. Le contrôle est ici des plus simples. Il consiste à mesurer ou mieux à peser la totalité du lait produit et à en déterminer, par l'analyse, la qualité la plus intéressante au point de vue de la production cherchée. Celle-ci étant généralement le beurre, le taux de matières grasses du lait multiplié par le rendement brut total en lait donne les renseignements les plus précis à ce sujet. S'il s'agissait de la production du fromage, on aurait également à suivre la marche de la coagulation du lait, les

1. Suivant la qualité.

qualités physiques et le poids du coagulum, etc... Est-il utile d'ajouter qu'il serait irrationnel de déduire la production de beurre de la quantité de lait produit au moyen d'un coefficient uniforme, puisque le rendement du lait en beurre dépend, avant tout, de la race et des qualités individuelles de la vache ?

On comprend maintenant pourquoi nous affirmions précédemment que le contrôle rationnel de la production laitière, c'est-à-dire la détermination exacte des rendements individuels et annuels en lait et en beurre, jointe à l'établissement du rapport de ces rendements à la valeur nutritive des fourrages ingérés, constitue le moyen de perfectionnement le plus infaillible dont dispose l'agriculteur pour exploiter avantageusement la vache laitière. Ce contrôle conduit en effet graduellement, mais sûrement :

1° *A la constitution d'étables uniquement composées de vaches bonnes laitières ou beurrières,* d'un bon rapport par conséquent ;

2° *A l'amélioration de la race par sélection des reproducteurs,* puisque les aptitudes à la production laitière semblent être transmissibles aux descendants, non seulement par les mères à grands rendements, mais par les taureaux qui les tiennent de leurs ascendants.

IV. — Sociétés de contrôle de la production laitière

Bien que relativement très simple en principe, le contrôle de la production du lait, dont nous venons de poser les bases, n'est cependant pas à la portée de toutes les bonnes volontés. La transformation des aliments en unités nutritives, même simplifiée par des barèmes, nécessite toujours quelques calculs. Pour connaître le rendement total de lait, d'autres difficultés d'exécution surgissent : on ne peut le déterminer sans traire chaque vache plusieurs fois dans la journée et sans peser chaque traite comme du reste tous les composants de la ration. Or, la balance confiée à des mains inhabiles cesse le plus souvent d'être un enregistreur précis. De plus, s'il n'est pas nécessaire de renouveler la surveillance tous les jours, il n'en faut pas moins l'exercer à des intervalles réguliers et assez rapprochés. Le contrôle est un travail absorbant et tout le monde ne peut lui consacrer ainsi et aussi souvent des journées entières. La détermination du rende-

ment du lait en beurre n'a enfin de signification que si l'on remet à l'opérateur qualifié pour opérer les dosages utiles un échantillon réellement moyen de tout le lait fourni dans la même journée par chaque vache, d'où nécessité absolue de prélever un échantillon proportionnel au poids et au volume de chaque traite, tous les échantillons des traites du même animal étant finalement réunis et mélangés.

Ces pesées, ces échantillonnages partiels et, en un mot, tous les calculs et opérations qu'exige le contrôle laitier constituent de réelles difficultés bien faites pour effrayer le plus grand nombre des agriculteurs. Ceux dont l'intelligence et l'instruction dépassent la moyenne peuvent cependant, s'ils ont de la volonté et de la patience, essayer de concourir eux-mêmes à l'établissement de cette minutieuse comptabilité de leur exploitation. Il est toutefois prudent qu'ils se fassent éduquer, guider et aider, en ce qui concerne la partie analytique, par un spécialiste, professeur d'agriculture ou directeur de laboratoire agricole, et qu'ils exécutent les pesées et prélèvements au moyen d'un matériel spécial combiné pour simplifier les manipulations et prévenir, autant que possible, les maladresses et les inexactitudes. C'est ainsi que fonctionne, en Allemagne, le *contrôle organisé par la station agronomique de Halle*. Moyennant un prix relativement faible par tête de bétail, les agriculteurs s'abonnent à ce service après s'être munis d'un appareil de mesurage agréé et d'une caisse réglementaire d'échantillonnage. Le seau à traire les échantillons, qui est en fer-blanc ordinaire, permet de se rendre compte facilement du volume exact de lait obtenu à chaque traite et surtout de prélever, au moyen d'un dispositif spécial, un échantillon dont le volume est bien proportionnel à celui de la traite. Tous les échantillons partiels provenant de la même vache sont versés directement dans un flacon portant le numéro sous lequel l'animal est inscrit au contrôle. La station se charge d'envoyer à chaque abonné, et à des jours déterminés, une caisse contenant des flacons en nombre suffisant pour l'échantillonnage du lait de chaque vache. Les récipients reçoivent à leur départ du laboratoire ce qu'il faut d'antiseptique pour assurer la conservation du lait pendant le transport et en attendant l'analyse.

Cette organisation, la chose est facile à prévoir, présente le sérieux inconvénient de n'offrir aucune garantie d'exactitude. Le plus souvent, les pesées, les prélèvements, c'est-à-dire les bases mêmes sur lesquelles repose le contrôle laitier, doivent se ressentir de l'inhabileté des cultivateurs. De plus, le côté rationnement de la question se trouve inévitablement négligé.

L'essai de Halle l'a confirmé. Il est alors permis de se demander s la surveillance exercée dans ces conditions aboutit à une sélection très judicieuse des animaux et constitue un précieux moyen de perfectionnement pour l'élevage. Les grandes exploitations seules nous paraissent susceptibles d'avoir une direction assez éclairée et de pouvoir disposer d'un personnel et de moyens suffisants pour pratiquer le système allemand. Mais, dans la majorité des cas, celui-ci semble condamné d'avance à l'insuccès par suite de la confiance imméritée qu'il accorde à la bonne volonté et aux capacités des propriétaires d'étables. Il est donc de toute nécessité, si l'on veut éviter les mécomptes et les dépenses inutiles, d'adjoindre à ces derniers un contrôleur suffisamment instruit et exercé à l'établissement de la comptabilité de leur production.

Ce principe admis, si l'on considère cependant combien est grande la dissémination des vaches laitières et combien est relativement restreint le nombre des exploitations à gros capitaux et possédant un nombreux bétail, on comprend de suite que la plupart des propriétaires, livrés à leurs propres ressources, ne peuvent, pour des raisons économiques, tirer parti de cette idée, à moins qu'ils n'entrent dans la voie si féconde de l'*association coopérative*. Celle-ci constitue en effet un autre système qui mérite toute l'attention des agriculteurs, car, pour une dépense minime, il assure tous les avantages que nous avons reconnus sur le papier au contrôle laitier rationnellement et rigoureusement opéré.

Qu'est-ce qu'une société de contrôle et comment celle-ci peut-elle fonctionner ? Nous allons répondre à ces deux questions en nous basant principalement sur ce qui a été fait dans cet ordre d'idées en Danemark. C'est là que l'on a entrevu pour la première fois les bienfaits de l'union de la science et de l'association et compris que cette dernière était le seul moyen de faire profiter le praticien des idées et

des faits sans cesse accumulés et contrôlés par les expériences de laboratoire. Il n'est pas besoin de rappeler le but principal des sociétés de contrôle. Nous croyons cependant que tout en cherchant à constituer des étables uniquement composées de vaches à grand rendement et cela par élimination des parasites dont l'exploitation laisse de trop minimes bénéfices et tout en travaillant ainsi à l'amélioration de la race par sélection des reproducteurs, la société de contrôle pourrait très utilement s'occuper également de l'achat en commun des aliments concentrés, dont l'introduction dans la ration de la vache laitière est souvent nécessaire, nous l'avons démontré. Ceci posé, si l'on réfléchit que les frais de contrôle sont d'autant moins élevés que la surveillance est exercée par un personnel aussi réduit que possible et ne se déplaçant que très peu, il semble logique de limiter tout d'abord le nombre des adhérents et de n'associer que des propriétaires dont les exploitations sont dans la même contrée. Les sociétés danoises comprennent au plus de douze à quinze membres, dont les étables réunies contiennent généralement de trois cents à quatre cents vaches soumises au contrôle. Celui-ci peut alors être exercé facilement et soigneusement par la même personne. Pour suivre individuellement la production d'un plus grand nombre de laitières, il faudrait s'adjoindre le concours de plusieurs aides et l'organisation du contrôle perdrait de suite le caractère de simplicité qu'il faut lui conserver comme à toute institution passagère. Les sociétés en question ne peuvent être, en effet, des associations de longue durée, car les exploitations changent de propriétaires et de direction. Aussi les Danois les constituent-ils pour cinq ans seulement. La direction est confiée à un comité de trois membres, nommés au sort la première année et qui sortent tour à tour tous les trois ans. Le comité choisit le président auquel incombent la direction générale et le recouvrement des cotisations et qui préside au choix du contrôleur, débat les conditions de son concours, signe enfin l'engagement au nom de la société. Au comité revient encore le soin d'acheter le matériel nécessaire à l'exécution du contrôle. Quant à la répartition de l'ensemble des dépenses entre les sociétaires, on ne la fait que deux fois par an. La cotisation dépend naturellement du nombre des vaches que chacun a soumises au contrôle. Le socié-

taire prend encore à sa charge les frais de nourriture et de logement du contrôleur pendant la durée du séjour de ce dernier à sa ferme. Il doit également transporter chez le sociétaire voisin, qui est contrôlé après lui, le coffre où se trouvent enfermés les appareils de contrôle.

Passons à l'exécution du programme par le contrôleur dont le travail consiste, nous le savons, à déterminer simultanément, pour chaque vache, la valeur de l'apport nutritif ainsi que le rendement en lait et en beurre, puis à inscrire sur un livre spécial les résultats de ses opérations. Les sociétaires sont généralement contrôlés deux fois par mois, cela suffit, et le président fixe en conséquence, une fois pour toutes, l'ordre des visites chez les différents membres. Le contrôleur est tenu de rester au moins vingt-quatre heures de suite dans l'exploitation qu'il inspecte, afin d'assister à trois traites consécutives. S'il arrive par exemple dans le courant de la journée, il préside à la traite du soir, puis le lendemain à la traite du matin et enfin à celle de l'après-midi. Il en profite pour surveiller le personnel pendant qu'on tire les vaches en sa présence et apprend à ceux qui s'y prennent mal comment on arrive, en conduisant rationnellement la traite, à faire produire davantage à l'animal. Le coffre de contrôle contient naturellement un seau d'échantillonnage permettant de prendre un échantillon moyen de chaque traite, — nous nous sommes déjà expliqué à ce sujet, — puis une série de flacons numérotés, destinés à recueillir les échantillons, et enfin un appareil de pesage.

Entre les traites le contrôleur s'occupe du rationnement, examine l'état des animaux, qu'il pèse si la chose lui est possible, et enfin détermine la qualité du lait. En ce qui concerne le rationnement, il obtient le poids des diverses rations consommées en retranchant pour chaque aliment le poids de ce qui n'a pas été mangé de la pesée du même aliment mise de côté lors de sa précédente visite. Le contrôleur donne en même temps ses instructions pour la période suivante, car on ne modifie que très rarement les rations entre ses visites. Beaucoup d'exploitations danoises appliquent le rationnement individuel ; aussi dans les étables sectionne-t-on les auges en compartiments distincts au moyen de cloisons solides et assez élevées pour que chaque vache soit obligée de ne manger qu'à sa place. Ces

cloisons sont mobiles et peuvent être manœuvrées et relevées simultanément afin de permettre le nettoyage de l'auge. Le contrôleur n'établit jamais dans la pratique autant de rations spéciales qu'il y a d'animaux. Il se contente de classer ceux-ci d'après leur âge, leur poids, la quantité de lait produit. Le rationnement se fait alors par groupes. On classe généralement les vaches en trois catégories (vaches à grands rendements, à rendements moyens et, enfin, à rendements faibles). Les aliments une fois prélevés, il ne reste plus alors au contrôleur qu'à exprimer en unités nutritives tout ce que l'animal a consommé. Nous savons comment le calcul s'effectue.

La détermination de la qualité du lait se fait également sur place et par les soins du contrôleur. Celui-ci dispose des appareils nécessaires au dosage rapide, mais exact du beurre. S'il est, par hasard, utile de connaître avec plus de détails la composition du lait, rien n'est plus facile que d'envoyer des échantillons au laboratoire le plus voisin. Chaque coffre de contrôle contient de petites caisses spéciales permettant de transporter les flacons d'échantillonnage.

Pour doser rapidement le beurre, on sépare tout d'abord, au moyen de la force centrifuge, la crème d'un volume de lait connu, et cela sur un grand nombre d'échantillons à la fois, puis, cette séparation opérée, on mesure la hauteur de crème dans le tube qui contenait la prise d'échantillon et l'on en déduit le pourcentage de matières grasses. Les appareils les plus usités sont le centrifuge-contrôleur de Fjord et le butyromètre Gerber. On peut également se servir de l'appareil de Soxlet, basé sur les différentes densités que possèdent les solutions de matières grasses dans l'éther. Citons enfin la méthode réfractométrique de Wolny qui permet de déduire la teneur du lait en beurre, des variations de l'indice de réfraction du mélange avec l'éther de la crème, séparée toujours de même, en centrifugeant le lait. Tous ces procédés sont on ne peut plus rapides. Avec l'appareil Gerber, construit pour vingt-quatre essais simultanés, le contrôleur peut, par exemple, en huit heures et sans aucun aide, opérer deux cents dosages de beurre. Si on lui adjoint quelqu'un, il arrive à quatre cents dosages. Mais nous ne pouvons entrer ici dans le détail de ces opérations analytiques.

Tous les résultats obtenus sont inscrits dans des livres spéciaux,

avec en-têtes préparés d'avance, que la société remet au contrôleur. La comptabilité des sociétés danoises est généralement tenue sur trois sortes de livres. Sur l'un d'eux, le contrôleur note tous les renseignements qu'il recueille dans chaque exploitation, à chaque contrôle. Dans un second, il réunit toutes les observations de l'année concernant la même vache. Enfin, sur un troisième, il établit séparément pour chacun des sociétaires le compte récapitulatif de son troupeau. Il résume même encore quelquefois les données des trois premiers livres et en déduit le compte général de la société. Les tableaux I et II nous permettront de mieux comprendre et apprécier les détails de cette comptabilité.

Ils ne sont pas en tous points semblables à ceux des livres danois, mais nous nous sommes efforcé de les simplifier autant que possible, car les sociétés de contrôle multiplient souvent les écritures bien inutilement.

Tous les ans, le contrôleur extrait du tableau I les données qui concernent la même vache et les transcrit sur un livre. Il prend ensuite la moyenne des chiffres comparatifs et établit un tableau analogue au tableau II.

Quand le compte individuel, le plus important de tous, est établi, il devient facile d'ouvrir un livret d'ensemble spécial à chaque vache et d'y indiquer à mesure les résultats de chaque année de contrôle. Le dossier de l'animal est ainsi complet. Le passage de la comptabilité de chaque exploitation à la comptabilité de toutes les exploitations de la même société de contrôle ne souffre aucune difficulté. Inutile d'insister.

Nous savons maintenant ce que l'on demande au service d'inspection des sociétés de contrôle. Le résultat, on le voit, dépend uniquement de l'instruction pratique et théorique, de l'habileté, du zèle du contrôleur, ainsi que de la conscience et de l'assurance avec lesquelles il remplit la mission qui lui a été confiée. Il n'est donc pas inutile de se préoccuper du meilleur mode de recrutement des contrôleurs. Les Danois n'emploient guère pour visiter leurs laiteries que des jeunes gens, dont les exigences sont en rapport avec le budget restreint de leurs sociétés, et comme le travail du contrôle, bien que très vaste, se trouve néanmoins à la portée de toutes les intelligences

TABLEAU I

COMPTABILITÉ DES OPÉRATIONS DE CONTROLE

Nom du sociétaire :... *Date du contrôle...* *Durée du contrôle...*

NOM ET NUMÉRO D'ORDRE de la vache	POIDS DES TRAITES d'échantillonnage				POURCENTAGE de matières grasses du lait de la traite				POIDS DU LAIT à 1 °/o de beurre (1)	RENDEMENT total en lait entre deux contrôles en ... jours	POIDS du beurre produit en ... jours	UNITÉS NUTRITIVES consommées en ..... jours, depuis le dernier contrôle provenant des aliments suivants :						OBSERVATIONS
												Poids des aliments consommés					Total en unités nutritives	
	Traite du matin	Traite de l'après-midi	Traite du soir	Total	du matin	de l'après-midi	du soir	Moyenne				Foin	Paille	Tourteau	etc.	Pâturage		

1. Cette rubrique désigne le poids de lait obtenu en multipliant la quantité de lait des trois traites de contrôle par le pourcentage moyen du lait des vingt-quatre heures en matières grasses. On obtient ainsi une sorte d'unité de comparaison qui permet au contrôleur de se rendre compte de suite de la valeur de la vache et des modifications de la lactation.

TABLEAU II

COMPTABILITÉ INDIVIDUELLE

Année de contrôle... *Nom et numéro d'ordre de la vache...* *Appartenant à...*

Née le	Poids vifs { le / le / le / le	Origine { Mère / Père	Vêlé le A été saillie le Par Nom et origine du taureau	Sexe, robe et signalement du veau Destination du veau
Autres observations : { Hauteur au garrot : — à la croupe : Tour de poitrine : Largeur à la hanche : Profondeur de la poitrine :		Mesures prises le :	La vache recevait l'alimentation suivante :	Primes obtenues :

PÉRIODES	PRODUCTION DE LAIT et de beurre d'après les traites d'échantillonnage			POIDS de lait à 1 °/o de beurre	POIDS de lait correspondant à une livre de beurre	VARIATIONS de poids vif	UNITÉS NUTRITIVES CONSOMMÉES provenant des aliments suivants						PAR JOUR moyen			POUR CENT UNITÉS nutritives		
	Poids du lait produit	Pourcentage de lait en matières grasses	Beurre produit									Total	lait produit	beurre produit	unités nutritives consommées	lait produit	beurre produit	accroissement de poids vif
Semestre d'été																		
Semestre d'hiver																		
Pour l'année																		

moyennes et n'exige pas une instruction supérieure [1], ils s'adressent de préférence à des fils de propriétaires d'étables, ayant déjà acquis une certaine expérience dans leur propre ferme, surtout en ce qui concerne les soins à donner aux animaux. Mais ces jeunes gens ne deviennent contrôleurs qu'après avoir reçu un complément nécessaire d'instruction. Ils fréquentent donc les écoles d'agriculture, et y acquièrent les notions fondamentales de la science agricole, tout en étant spécialement préparés au travail du contrôle laitier. On leur enseigne les principes fondamentaux de l'alimentation rationnelle ; on leur fait connaître les méthodes de sélection des animaux et la raison d'être des sociétés de contrôle ; on leur apprend comment il faut traire les vaches. Ils exécutent enfin, en outre, journellement les travaux ordinaires du contrôle avec lesquels ils doivent être entièrement familiarisés (pesées ; prises d'un échantillon moyen de chaque traite ; détermination du beurre soit avec l'appareil Fjord, soit avec le Gerber ; calcul des unités nutritives apportées par les aliments ; tenue des livres de contrôle ; critique des résultats, etc.). On conçoit tout l'intérêt de ce mode de recrutement, car *les sociétés de contrôle constituent ainsi une véritable pépinière de praticiens éclairés,* entièrement rompus à la pratique de l'exploitation rationnelle de la vache laitière.

Pour terminer ce rapide exposé de la question, il ne nous reste plus qu'à faire connaître le prix de revient du contrôle et à établir ensuite le bilan des résultats obtenus par les sociétés qui le pratiquent.

Le prix d'achat d'un coffre de contrôle et de tous les appareils nécessaires étant de 300 fr. environ et les appointements du contrôleur s'élevant en moyenne avec les faux frais à 560 fr., le contrôle, pour un troupeau de trois cents à quatre cents vaches, coûte donc, par tête de bétail contrôlé, 2 fr. 80 au maximum la première année

1. Les sociétés de contrôle sont très souvent fédérées et la fédération a alors à sa tête un directeur technique général, soit un chef de station agronomique, soit un directeur d'école d'agriculture, faisant autorité en matière de production laitière et auquel l'on soumet toutes les questions délicates exigeant des connaissances plus vastes que celles des contrôleurs.

et de 1 fr. 30 à 2 fr. les années suivantes. Mais, il ne faut pas perdre de vue que la plupart des sociétés danoises reçoivent de l'État des subventions variant de 300 à 500 fr., atteignant presque le montant des appointements du contrôleur. Le ministère de l'agriculture distribue ainsi par an près de 70 000 fr. aux sociétés de contrôle à titre d'encouragement.

Quant aux résultats pratiques, ils sont des plus intéressants. On a constaté au Danemark que, dans la plupart des troupeaux, la moitié des vaches et même quelquefois plus, étaient mauvaises laitières ou beurrières. L'élimination de toutes les bêtes improductives, c'est-à-dire transformant mal leur ration, a fait augmenter de suite dans de très grandes proportions les bénéfices des exploitations laitières.

Voici par exemple les améliorations d'utilisation de la ration obtenues en quatre ans de contrôle par trois sociétés danoises :

	UNITÉS NUTRITIVES nécessaires pour produire une livre de beurre		
	I	II	III
Année 1897.	20,52	16,53	19,37
— 1898.	18,32	16,80	16,23
— 1899.	17,83	14,34	13,45
— 1900.	14,83	11,20	12,16

Les chiffres suivants nous font également ressortir tous les avantages économiques de l'élimination des mauvaises beurrières ; ils montrent quelle est l'augmentation des bénéfices du producteur de 3 000 litres de lait à mesure que le pourcentage de ce dernier en beurre s'élève, par suite de la sélection du bétail.

Pour une teneur de lait en matières grasses de :

2,5 %,	le beurre de	3 000 litres	a une valeur de	210 fr.
3,0 %,	—	—	—	244
3,5 %,	—	—	—	281
4,0 %,	—	—	—	315

Le tableau suivant, non moins significatif, met plus complètement en évidence l'heureuse influence de quatre années de contrôle sur l'amélioration du bétail et par conséquent sur la production soit en lait, soit en beurre, de toute l'étable. Ces chiffres sont extraits d'un registre de contrôle d'une des sociétés danoises.

On remarquera que, dès la seconde année de contrôle, l'étable en question produit plus de lait et de beurre avec moins de vaches. L'élimination des mauvaises laitières, que nous qualifiions précédemment et à juste titre de véritables parasites, aboutit en effet toujours régulièrement, non seulement à une surproduction, mais à une meilleure utilisation des fourrages, ainsi que cela ressort encore de la comparaison des chiffres de ce dernier tableau, plus détaillé et démonstratif que les précédents.

ANNÉES	NOMBRE DE VACHES	CLASSEMENT des vaches d'après la production du lait					MOYENNE des quantités de lait produit	CLASSEMENT des vaches d'après le pourcentage du lait en graisse			MOYENNE DE LA TENEUR DU LAIT en matières grasses	CLASSEMENT des vaches d'après la production du beurre				MOYENNE DE LA PRODUCTION de beurre
		plus de 4 000 kilogr.	de 4 000 à 3 500 kilogr.	de 3 500 à 3 000 kilogr.	de 3 000 à 2 500 kilogr.	moins de 2 500 kilogr.		plus de 3,5 °/o	de 3,5 à 3 °/o	moins de 3 °/o		plus de 150 kilogr.	de 150 à 125 kilogr.	de 125 à 100 kilogr.	moins de 100 kilogr.	
							Kilogr.									Kilogr.
1894-1895 . . .	111	29	26	27	18	11	3 503	5	47	59	2,97	26	40	30	21	124,70
1895-1896 . . .	104	37	24	23	10	10	3 765	8	67	29	3,13	36	34	23	11	137,85
1896-1897 . . .	109	26	23	25	17	8	3 398	8	65	36	3,14	24	32	30	23	127,34
1897-1898 . . .	99	25	34	18	13	9	3 602	12	67	20	3,21	36	33	16	14	138,66

Résultats moyens d'un contrôle de cinq années ayant porté sur le bétail de treize exploitations, pour une vache et pour une année :

ANNÉES	LAIT PRODUIT	TENEUR du lait en matières grasses	UNITÉS nutritives consommées	100 UNITÉS NUTRITIVES ont produit	
				lait	beurre
—	—	—	—	—	—
	Kilogr.	°/o		Kilogr.	Kilogr.
1895-1896	3 170,5	3,34	4 503	70,5	2,565
1896-1897	3 008,0	3,26	4 204	71,5	2,525
1897-1898	3 014,5	3,37	4 311	70,0	2,561
1898-1899	3 054,5	3,39	4 139	73,5	2,755
1899-1900	3 040,5	3,39	4 198	72,5	2,675

Donc, en résumé, *d'une part, augmentation de la production et,*

d'autre part, diminution de la dépense alimentaire. Tel est le bilan des conséquences immédiates de la méthode. Le contrôle présente également d'autres avantages non moins précieux, car le travail incessant, ainsi accompli dans les fermes pour arriver à la connaissance approfondie de la valeur de chaque bête, permet de choisir judicieusement les animaux reproducteurs.

Les sociétés de contrôle contribuent par cela même dans une très large mesure au développement des qualités des races laitières. Elles ont fait leurs preuves au Danemark, et si ce pays occupe aujourd'hui une des premières places parmi les producteurs de lait, cela provient en grande partie du soin que l'on a toujours pris de choisir les mères parmi les « bonnes laitières ». Or *le contrôle méthodique est le seul moyen,* nous l'avons démontré, *qui permette de désigner avec certitude les animaux à grand rendement et de les distinguer des bêtes dont l'exploitation n'est pas rémunératrice et dont il faut par conséquent se défaire.*

Il y a dix ans, lorsque fut fondée en Danemark la première société de contrôle, bien peu de propriétaires d'étables comprirent de suite l'importance de cette heureuse tentative. La cause, il faut le croire, était cependant bonne, puisqu'elle ne resta pas longtemps sans partisans et ne tarda pas à éveiller l'esprit d'initiative, le goût et l'intelligence de tous les agriculteurs. En 1900, on pouvait déjà compter 186 sociétés danoises, comprenant 4 000 membres et exerçant le contrôle de la production individuelle de 78 600 vaches. Actuellement, le nombre de ces associations est de 340. On voit avec quelle rapidité la méthode s'est répandue. Le mouvement ne s'est du reste pas limité au Danemark, ainsi que le tableau suivant permet de s'en rendre compte :

	SOCIÉTÉS de contrôle	
La Suède possède. . . .	204	(contrôlant 9 000 vaches dans 2 000 étables)
La Norvège —	120	
L'Allemagne —	50	
La Finlande —	40	
La Russie —	8	
La Hollande —	3	
L'Écosse —	2	
L'Autriche —	5	

Les considérations théoriques qui précèdent, jointes à l'immense succès obtenu par les sociétés de contrôle, tant en Danemark que dans les pays voisins, démontrent nettement la valeur indiscutable du système. Pourquoi ne l'appliquons-nous pas en France, où cependant les intérêts de l'agriculture réclament son extension à bref délai, ce dont on peut établir facilement et rapidement la preuve? Alors que nos exportations dans les pays importateurs de beurre, comme l'Angleterre, ont diminué en trois ans (de 1898 à 1900) de 20 °/₀, celles des pays du Nord, où l'esprit d'association ne cesse de faire progresser l'exploitation et l'élevage de la vache laitière, ainsi que la transformation et le commerce des produits de la laiterie, se sont accrues de 33 °/₀. Le Danemark à lui seul entre pour 44 °/₀ dans l'importation du beurre en Angleterre. Faut-il ajouter que sa production a déjà fait son apparition depuis plus de six ans sur le marché de Paris. (En 1900, 500 000 kilogr. de beurre ont été vendus aux Halles au prix de 3 fr. 80 à 4 fr.) Ces constatations ne sont-elles pas de celles qui doivent nous préoccuper? « Il ne nous semble pas possible, dit M. Grandeau, dans son rapport général sur l'agriculture en 1900, que le mouvement coopératif de la laiterie française, si remarqué à l'exposition, en s'accentuant et en s'étendant à la plupart de nos régions d'élevage, n'ait pas pour conséquence, malgré la consommation considérable dans notre pays des produits de la laiterie, une augmentation sensible de nos exportations. » Nous avons des pâturages et des races laitières renommés. Il faut savoir en tirer le meilleur parti, or, au point de vue de l'utilisation de nos richesses laitières, il nous reste bien des progrès à réaliser. Lorsque tout est à faire, les desiderata sont nombreux. Tous ne peuvent évidemment aboutir de suite et en même temps mais ce n'est pas une raison pour les laisser dans l'ombre. Nous concluons donc qu'il est de l'intérêt de l'agriculture :

1° D'attirer énergiquement l'attention des pouvoirs publics, de la représentation parlementaire des départements producteurs du lait et des grandes sociétés d'agriculture sur les heureux et incontestables résultats du contrôle rationnel de la production laitière, sur la possibilité d'appliquer cette méthode de progrès en entrant dans la

voie si féconde de l'association, et, enfin, sur la nécessité d'encourager son extension ;

2° De demander, en attendant que le principe même du contrôle soit obligatoirement enseigné dans toutes les écoles d'agriculture, qu'on fasse de suite connaître son utilité et ses effets dans les centres de production laitière, aux directeurs, par exemple, de laiteries et de beurreries coopératives, et cela par des brochures et des conférences ;

3° Que les laboratoires agricoles entreprennent quelques essais de contrôle, afin de démontrer aux cultivateurs la simplicité de la méthode et de provoquer l'entrée en jeu de l'initiative privée et de l'esprit d'association.

BIBLIOGRAPHIE

O. Kellner. — *Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere.* Berlin, 1905.

Grandeau. — *L'Agriculture et les institutions agricoles du monde au commencement du vingtième siècle.* T. I, 1905.

Rudolf Schou. — *L'Agriculture au Danemark,* 1900.

Pott. — *Die Dänischen Kontrollvereine.* Berlin, 1901.

Buer. — *Die Dänischen Kontrollvereine.* Berlin, 1902.

Scheffer. — *Die Dänischen Kontrollvereine.* Leipzig, 1902. — *55de Beretning fra den kongelike Veterinär og Lanbohöjskoles laboratorium for Frislandokomiske Forsog.* Copenhague, 1904.

Pott et Schawe. — *Kontrollvereine für Milchleistungen.* (Deutsche Landw. Gesell., n° 99, 1904.)

Grégoire. — *Contrôle de la production du lait.* (Deuxième Congrès international de l'alimentation rationnelle du bétail. Liège, 1905.)

ESSAIS D'IRRIGATION EN FORÊT

FAITS PRÈS DE VIENNE (AUTRICHE)

PAR MM.

BÖHMERLE
ATTACHÉ A LA STATION D'EXPÉRIENCES FORESTIÈRES DE MARIABRUNN

Dr CIESLAR
PROFESSEUR A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'AGRICULTURE DE VIENNE

La question de l'irrigation en forêt n'est pas nouvelle, non seulement pour les pépinières et les jeunes plants forestiers, mais même pour les peuplements constitués. Ainsi, il y a déjà longtemps, on a proposé de se servir des eaux coulant dans les fossés des routes forestières pour arroser, à l'aide de tuyaux ou de rigoles, les arbres avoisinants. Cette idée de l'utilisation des eaux est exprimée dans plusieurs ouvrages (Leo ANDERLIND, *Beschreibung der Bewässerung der Waldungen der Ebene mittelst Fächer oder Hälter,* 1903, *Allg. F. und J.-Z.*), et dans une autre brochure du même auteur publiée auparavant : *Ein System von Mitteln zur Verhütung schädlicher Hochwässer.*

Notre station de recherches s'est aussi occupée plus particulièrement de cette question. Dans l'année 1901 elle a installé des essais d'irrigation dans la forêt de pins de Grossen appartenant à la commune de Wiener-Neustadt. L'impulsion fut donnée à la suite de l'excursion, faite en 1894 par l'*Association des forestiers autrichiens,* où l'on put aisément se convaincre du grand contraste de la végétation sur le terrain arrosé par le Kehrbach et sur les sols secs de la lisière sud.

Sur la bande relativement étroite qu'arrose le Kehrbach la végé-

tation est luxuriante. On y rencontre des arbres et des plantes qui, à quelques centaines de pas plus loin, ne pourraient se développer, ou, du moins, avoir une aussi belle croissance. Ce fut le chevalier VON BERG qui se prononça pour une irrigation de la forêt et le conseiller aulique FRIEDRICH promit d'obtenir de la commune une concession pour des essais de ce genre.

C'est seulement en 1901 que la station de recherches fut en état de faire au conseil de Wiener-Neustadt des propositions à cet égard, et le conseil consentit très gracieusement comme d'habitude, si bien qu'après Pâques de 1901 on put procéder à l'installation des essais. On les fit dans des plantations et dans des peuplements naturels et, chaque année, on procéda aux mesurages et aux observations nécessaires.

Bien que les résultats se fussent montrés en peu de temps, la station de recherches n'aurait pas fait une publication hâtive et aurait attendu la confirmation de nombreuses années si l'extraordinaire sécheresse de 1904 ne s'était fait remarquer si fortement en certaines parties du champ d'expériences qu'il a paru désirable de publier immédiatement les résultats.

Nous allons d'abord donner une description de la disposition des expériences.

La forêt de pins de Grossen est traversée par un seul ruisseau, le Kehrbach, qui est artificiel. C'est une dérivation de la Schwarza qui déverse son eau dans le canal de Wiener-Neustadt, aujourd'hui sans importance. Un autre filet d'eau d'un faible volume est le ruisseau Feuerbachel qui se jette dans le Kehrbach. Il sert à irriguer un ensemble de prairies et, en cas d'incendie, il doit amener l'eau dans la forêt de pins très exposée à ce danger.

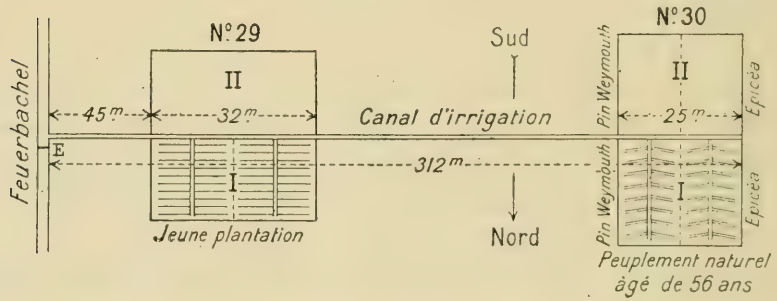
C'est ce Feuerbachel qui fournit l'eau destinée à l'irrigation. Le croquis montre la disposition des essais.

L'eau du Feuerbachel s'amasse dans l'écluse E et passe de là dans un canal d'irrigation qui, après avoir tranchi la haute futaie de l'Altstrasse, atteint la parcelle Grasseln et, au bout de 45 mètres, traverse la plantation artificielle mise en expérience (n° 29). A 300 mètres plus loin elle atteint le peuplement naturel (parcelle Saubersdórferfeld) [n° 30].

Dans ces deux parcelles on a pris des dispositions pour faciliter l'irrigation. La pente de la rigole est faible, mais suffisante (en moyenne 7,7 °/₀).

Les surfaces irriguées 29 (I) et 30 (I) ont la pente naturelle du terrain et les parcelles témoins non arrosées sont situées au-dessus.

Quand il y a pleine eau, le Feuerbachel donne 256 litres par seconde et 14 litres dans le canal. Pour une irrigation on est donc obligé de prendre un dix-huitième du débit du Feuerbachel. Cette irrigation se fait à des intervalles plus ou moins rapprochés, suivant les besoins, par un surveillant qui s'occupe aussi de l'entretien des fossés. On tient un registre exact des opérations. Nous allons seule-



Croquis des places d'essai

ment donner dans ce qui va suivre les résultats obtenus pour le peuplement naturel (n° 30). Le Dr Cieslar se charge de faire le rapport sur la plantation artificielle (n° 29).

Le peuplement est composé de pins noirs qui avaient cinquante-six ans au moment des essais. Il aurait été mieux de prendre un peuplement plus jeune ; mais à cause de la nécessité de diminuer les frais en opérant en connexion avec l'irrigation de la plantation, ce choix était obligatoire.

D'autre part, ce choix était avantageux, parce que dans cette parcelle, peuplée d'arbres de même âge et de même origine, on a déjà fait, depuis 1882, des expériences sur les éclaircies et sur la couverture du sol, circonstance pouvant être utile au but poursuivi.

Tandis que les surfaces d'essai voisines n°s 2 et 3 ont été traitées

depuis 1882 suivant les mêmes principes en vue des expériences, le peuplement soumis à l'irrigation (surface d'essai n° 30) a été éclairci par le service local à d'autres moments et pas toujours de la même façon. Aussi une comparaison directe de ce peuplement avec les surfaces d'essai n°s 2 et 3 n'est pas possible ; car tandis que la surface d'essai n° 2 accuse, avec le degré d'éclaircie moyenne, environ 6 100 tiges en 1902 et 3 500 dans les parties éclaircies fortement, avec une surface terrière de 34^{mq},6, soit 28^{mq},9 par hectare, il restait, après l'enlèvement des tiges dominées, sur la surface d'essai n° 30, dans I 3 720 tiges et dans II 3 600, avec une surface terrière de 27^{mq},9, soit par hectare 32^{mq},8. (Voir les totaux des tableaux A et B. Comme on a mesuré sur chaque tige deux diamètres perpendiculaires, que les surfaces terrières sont par suite doublées et que les surfaces d'essai sont de 5 ares, il n'y a qu'à multiplier les totaux par dix pour avoir la surface terrière par hectare.)

Les deux parcelles I et II ne sont pas semblables, du moins sous le rapport des surfaces terrières, quoiqu'elles concordent assez par le nombre des tiges. Cette différence provient du plus grand nombre de grosses tiges dans II. Comme pourtant il eût été difficile de trouver un peuplement plus convenable, on s'en tint à ces deux parcelles.

Cette différence dans la surface terrière n'a pas d'importance ici puisque l'on observe chaque tige séparément.

Les surfaces d'essai n'embrassèrent que 5 ares. Les circonstances ne permettaient pas d'en prendre de plus grandes. On en a été empêché parce qu'on aurait trouvé encore de plus fortes irrégularités dans le rayon d'essai ; la pente eût été trop forte, et par suite les frais d'irrigation trop élevés.

Enfin l'éloignement de la source et les rapports avec les possesseurs de prés co-partageants au droit d'irrigation étaient à considérer.

Dans l'ensemble l'emplacement était favorable : le sol étant partout homogène et la pente faible favorisant l'irrigation. Les bourrelets établis autour de la surface I à irriguer n'étaient pas hauts. La composition du sous-sol était avantageuse. Le sol, formation diluviale, est du sable calcaire et du *Schotter* recouvert par une couche

de terre de 15 à 30 centimètres. A une profondeur de 45 à 60 centimètres se trouve une couche de conglomérat de 4 centimètres environ qu'atteignent les racines et sur laquelle elles s'étalent. Cette couche imperméable retient les eaux d'infiltration et permet à l'excès de s'écouler suivant la pente naturelle.

M. de Seckendorff a décrit longuement ce sol dans son travail sur le pin noir (1re partie, p. 42) et a montré dans plusieurs figures comment, suivant l'âge, les racines du pin noir s'étalent sur ce conglomérat et forment, à sa surface, chez les vieux arbres, dans un peuplement un peu épais, un feutre inextricable.

En vue de l'irrigation les parcelles I furent munies de deux rigoles principales sur lesquelles s'embranchaient un certain nombre de rigoles secondaires de manière à distribuer l'eau partout, autant que possible. Dans les premiers essais il fallait attendre assez longtemps avant que l'eau parvînt aux arbres ; mais dès que le canal d'irrigation de plus de 300 mètres de long fut colmaté, l'irrigation fut bien plus rapide.

Le dispositif fut prêt au printemps de 1901 avant la saison de végétation ; toutes les tiges, soit de la parcelle irriguée, soit de la parcelle témoin, furent numérotées et mesurées.

A l'automne de 1901, après la période de végétation, on mesura de nouveau très exactement, jusqu'au millimètre, toutes les tiges et on répéta cette opération chaque année à la même époque. En 1902 il y eut quelques chablis.

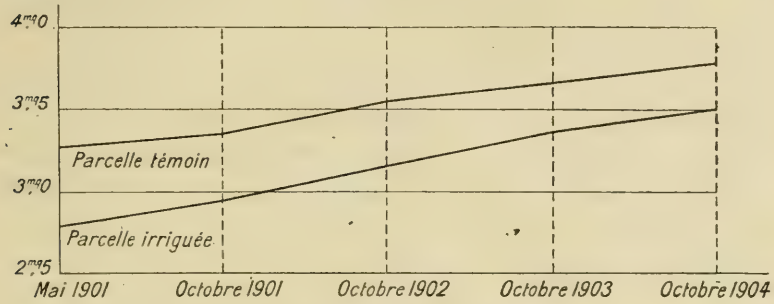
Déjà à l'automne de 1901 la parcelle irriguée accusait une augmentation de surface terrière beaucoup plus grande que la parcelle témoin et ce résultat se continua dans les années suivantes. Ainsi cette augmentation fut pour les années

	1901	1902	1903	1904	
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	
de . . .	2,3	7,5	12,0	15,2	dans la parcelle témoin,
et de . .	5,0	12,4	19,5	25,0	dans la parcelle irriguée.

L'accroissement annuel, qui a donc été de **2,3, 5,2, 4,5, 3,2** % dans la parcelle témoin, *s'est élevé, comme on voit, pour les années correspondantes, à* **5,0, 7,4, 7,1, 5,5** *dans la parcelle*

irriguée. Le supplément d'accroissement dû à l'eau n'a varié pour chaque année qu'entre 2,2 et 2,7 °/₀. On peut admettre que c'est le taux normal qu'on retrouvera dans les années suivantes.

Le supplément d'accroissement de la surface irriguée est donc évident. On le constate aussi dans le graphique ci-dessous où l'on voit la courbe exprimant la surface terrière de la parcelle irriguée se rapprocher toujours plus de la courbe relative à la parcelle témoin.



Courbe des surfaces terrières

[L'auteur, dans un long tableau que nous ne reproduisons pas ici, donne pour chaque tige, à la fin de chaque saison, la longueur de deux diamètres perpendiculaires et la surface des cercles correspondants.]

Pour les cent quatre-vingt-sept tiges de la parcelle irriguée et pour les cent quatre-vingt-cinq de la parcelle témoin, la surface terrière (voir la courbe ci-dessus) a été en :

	MAI	OCTOBRE			
	1901	1901	1902	1903	1904
	Mèt. carrés	Mèt. carrés	Mèt. carrés	Mèt. carrés	Mèt. carrés
Parcelle irriguée. .	2,7943	2,9344	3,1412	3,3386	3,4919
Parcelle témoin . .	3,2822	3,3567	3,5295	3,6754	3,7823

Si l'on distribue les tiges en trois classes d'après leur grosseur et qu'on trace les courbes d'accroissement de ces trois classes on voit que :

1° L'irrigation a influé favorablement sur l'accroissement dès la première année (1901) et surtout sur les tiges les plus faibles ;

2° La courbe de 1902 surpasse sensiblement celle de 1901, montrant que l'action de l'eau s'est encore accrue cette année-là ;

3° En 1903 les tiges les plus faibles ont encore éprouvé un supplément d'accroissement notable, les autres un moindre.

Quant à la courbe de 1904, elle atteste sans nul doute la sécheresse du dernier été.

On doit conclure de ce qui précède que l'irrigation en forêt est utile, même sur les peuplements forestiers *formés d'arbres faits,* et que, au cas particulier, elle est facilement praticable dans la pineraie de Grossen.

Ces expériences ne sont pas terminées. On ne se bornera pas à résoudre la question par des cubages ; mais, lorsqu'on mettra fin à l'essai dans un temps indéterminé, on abattra le peuplement, ce qui donnera des notions encore plus exactes ; on pourra calculer le produit en argent de l'excédent de matériel ligneux dû à l'irrigation et voir si l'opération donne ou non du bénéfice.

KARL BÖHMERLE.

EFFETS DE L'IRRIGATION SUR DE JEUNES PLANTATIONS D'ÉPICÉA ET DE PIN WEYMOUTH

Parmi les facteurs de la végétation, l'eau joue un rôle prédominant. Le taux de production du travail végétatif d'une plante n'est cependant pas proportionnel au taux d'humidité du sol ; loin de là. Ce travail commence avec un certain minimum d'eau dans le terrain ; il devient plus actif à mesure qu'elle augmente jusqu'à un certain degré qui est l'optimum, pour décroître avec un nouvel afflux d'eau et cesser quand cette augmentation dépasse un taux déterminé. Donc pour l'eau, comme pour les autres agents de la végétation, il y a trois points importants dans la courbe, le minimum, l'optimum, le maximum.

Ainsi que l'ont montré les recherches approfondies du professeur

Wollny [1]) la production des végétaux et, au point de vue forestier, la production du bois sont dominées par ce facteur qui agit de la même façon, quand il est trop faible et insuffisant ou quand il s'approche du maximum. « Les agents extérieurs de la vie des plantes sont, relativement à leur influence sur la production, dépendants les uns des autres de telle sorte que les lois constatées pour chacun d'eux s'appliquent à l'ensemble de leur action. »

Si, par exemple, dans un peuplement forestier, l'humidité du sol atteint l'optimum, le maximum de production ligneuse ne se réalisera cependant point si les matières minérales nutritives ne sont pas à l'optimum dans le sol.

Inversement cette proportion optima d'aliments dans le sol n'aboutira pas au maximum de production s'il n'y a pas assez d'eau.

Cette même dépendance se retrouve aussi pour les autres facteurs de végétation, la température et la lumière.

D'après les recherches faites jusqu'ici, la production des végétaux semble être influencée par l'apport d'eau d'une façon tout à fait extraordinaire, bien plus que par n'importe quel autre facteur de la végétation.

Un manque d'eau dans le sol amène une diminution dans la décomposition des matières organiques, par suite dans le taux des matières nutritives assimilables et dans le courant de sève de la plante.

Un excès d'eau empêche que l'air arrive aux racines ; au lieu de l'*eremacausis* [2]), c'est *la putréfaction* (décomposition forménique) qui se produit, et alors les éléments azotés et minéraux ne deviennent pas assimilables comme dans l'eremacausis, étant enfermés dans des humus acides. De plus, par ce même excès d'eau, la respiration est entravée.

---

1. E. Wollny. Untersuchungen über den Einfluss der Wachstumsfaktoren auf das Produktionsvermögen der Kulturpflanzen (*Forschungen a. d. Geb. der Agricultur-physik.* Fasc. XX, p. 53 et suiv.).

2. La décomposition par *Eremacausis* (de ἠρεμα, paisiblement, insensiblement, et de καυσις, combustion) est celle qui se fait en présence de l'oxygène et qui donne lieu à la formation de l'*humus neutre* ou *doux*, qui, en sylviculture, s'appelle le *terreau forestier*. C'est le meilleur mode de décomposition, celui qu'on doit toujours chercher à réaliser.

Du reste le besoin en eau des plantes est très fortement influencé, relativement au maximum de production, par la température, par l'humidité de l'air et aussi par la composition physique du sol. Pour arriver au maximum il faut d'autant moins d'eau dans le terrain qu'elle est moins énergiquement retenue.

Sur des sols à gros éléments et contenant peu de substances colloïdales, tels que les gros sables, on peut obtenir le maximum de production avec une faible quantité d'eau, tandis que des sols argileux et humiques en exigent une bien plus forte proportion.

Dans beaucoup de stations forestières, dites sèches, le taux du sol est au-dessous de l'optimum. D'autres stations forestières ont une teneur en eau qui varie entre l'optimum et le maximum. Tandis que pour corriger l'inconvénient résultant de l'excès d'eau le forestier a l'habitude d'intervenir par des drainages, on parle rarement d'irrigation en forêt sur des sols trop secs. Ce qui est en agriculture, depuis des siècles, une mesure utile habituelle, n'a pas été ou à peine adopté par le forestier. On se tromperait cependant si l'on croyait que l'irrigation n'a jamais été essayée en forêt. Sur quelques points, elle est entrée dans les règles de l'exploitation forestière. Je pourrais citer, par exemple, le système dernièrement préconisé par Müller, des *fossés horizontaux*, comme nous le voyons employé dans maints vieux peuplements de chênes du Palatinat bavarois situés sur des pentes, et particulièrement dans les peuplements de pin sylvestre des montagnes du Haardt du Palatinat végétant sur des sols maigres de grès bigarré épuisé par un soutrage excessif.

Les *fossés horizontaux* (1) ont surtout pour but d'empêcher l'écou-

---

1. Il est probable que les premiers essais d'irrigation en forêt sur des peuplements constitués, du moins les premiers essais conçus dans un esprit scientifique, sont ceux de M. Chevandier de Valdrôme, à Cirey (Meurthe-et-Moselle). Ils remontent à 1840 et les résultats en ont été publiés dans un recueil qu'il n'est permis à personne de laisser de côté (*). Beaucoup d'auteurs allemands ont la regrettable habitude de négliger, dans la bibliographie, les littératures étrangères, ce qui diminue considérablement la portée de leurs écrits. MM. Böhmerle et Cieslar ignorent les expériences anciennes de M. Chevandier de Valdrôme ; ils ignorent également les beaux résultats obtenus par les Anglais dans les Indes sur des plantations irriguées

* *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, séance du 15 juillet 1844.

lement trop rapide des précipitations atmosphériques sur les pentes, par ce moyen, une grande partie de l'eau météorique est utilisée par le sol et la végétation qui le recouvre, et non seulement les inondations, fréquentes autrefois, sont contenues, mais — Müller insiste particulièrement sur ce point — l'eau est maintenue dans le sol forestier.

Dans le Palatinat bavarois on a partout remarqué que dans les parcelles pourvues de fossés la végétation était plus belle. Müller espère non sans raison que l'emploi de ces fossés d'arrêt fera grand bien aux peuplements rabougris de pins sylvestres du Haardt.

Le Dr Anderlind, dans sa brochure *Ein System von Mitteln zur Verhütung schädlicher Hochwässer*, discute l'emploi des cuvettes creusées dans les forêts de la ville de Cava, près de Salerne. Presque à chaque souche de châtaignier dans ces forêts, situées en pentes raides, on a creusé une cuvette qui empêche le rapide écoulement des eaux de pluie et les utilise à la croissance du bois. Aussi les forêts de Cava se distinguent par leur végétation luxuriante. Nous pouvons encore dans ce cas parler d'une irrigation en forêt.

A ce même sujet appartient bien encore l'arrosage des planches de semis et de jeunes plants dans les pépinières. Déjà, depuis 1889, j'entreprends à Mariabrunn sur une petite échelle des recherches exactes et j'en ai publié les résultats dans le *Centralblatt für das gesammte Forstwesen*, 1893, p. 24-38. Sur un sol nu, non ameubli, l'arrosage a augmenté la production ligneuse de 15 %.

Lorsque la station forestière autrichienne eut résolu de faire des recherches sur l'irrigation, elle voulut expérimenter non seulement sur

---

de teck et de Dalbergia dont l'école forestière de Nancy possède de magnifiques spécimens.

Citons seulement la conclusion du sagace expérimentateur français auquel la science forestière est redevable de plusieurs travaux d'importance capitale. « Si on représente par 1 l'accroissement annuel d'un sapin dans les terrains fangeux du grès vosgien, cet accroissement correspondra, à très peu de chose près, à 2 dans les terrains secs, à 4 ou 5 pour les terrains disposés de manière à recueillir les eaux de pluie qui s'écoulent des chemins ou des pentes supérieures, et à plus de 6 pour les terrains où l'infiltration des eaux des ruisseaux entretient une fraîcheur permanente. » Il préconise précisément les *fossés horizontaux* longtemps avant le forestier allemand (Müller) cité plus haut. Ces fossés, de 75 centimètres à 1 mètre de largeur et de profondeur, coûtaient à établir 7 cent. par mètre courant, soit en moyenne 40 fr. par hectare.

un peuplement naturel assez âgé, mais encore sur une plantation. La situation de la pineraie de Grossen lui parut particulièrement favorable pour ces essais. Le sol formé de *Kalkscholler* diluvial est très pierreux et sec. Les analyses mécaniques précédemment faites par le Dr Hoppe dans un peuplement de pin noir voisin de la surface irriguée ont montré que le sol jusqu'à une profondeur de 12 à 15 centimètres contenait en moyenne 53 °/₀ de pierres et seulement 47 °/₀ de terre fine passant au tamis d'un millimètre. Plus on s'enfonce dans le sol, plus il y a de pierres et, à une profondeur de 45 à 50 centimètres, on trouve une couche de conglomérat absolument impénétrable aux racines et très peu perméable. Donc les peuplements forestiers sont installés sur un sol peu profond assez pauvre en eau, même après une courte période de sécheresse.

Le sol nu de cette pineraie se couvre bien vite après l'exploitation d'une végétation buissonnante et d'un épais tapis d'herbe qui agit défavorablement sur l'humidité du terrain. Les faibles pluies mouillent à peine le sol et des pluies plus importantes sont bientôt perdues pour lui à cause de l'active transpiration du tapis végétal.

La lame d'eau moyenne observée depuis de longues années à Wiener-Neustadt, éloigné seulement de quelques kilomètres, atteint 582 millimètres.

L'hiver est particulièrement pauvre en pluie si bien que le sol ne peut emmagasiner une humidité hivernale abondante. La somme des précipitations de mai, juin, juillet, août, atteint en moyenne 304 millimètres.

La parcelle d'expérience est située dans le canton Grasseln, non loin de la parcelle irriguée dont mon collègue Böhmerle vient de donner les résultats.

A quelques mètres de cette parcelle, coule vers le nord le ruisseau Feuerbachel auquel on emprunte l'eau nécessaire. Une moitié (I) est irriguée ; l'autre moitié (II) n'a reçu aucune irrigation artificielle. Chacune de ces deux surfaces porte, sur une moitié, des pins Weymouth et sur l'autre des épicéas. Dans chacune de ces quatre divisions il y avait quatre cents plants disposés en quadrillage à 80 centimètres. Cette plantation, extraordinairement serrée, avait pour but, — abstraction faite du désir d'obtenir rapidement un

peuplement fermé — d'établir le plus opportunément de nombreux sujets d'observation sur une surface aussi faible que possible.

En prenant le pin Weymouth on voulait étudier une essence qui, avec une croissance extrêmement rapide, pût améliorer le sol à un haut degré et permettre d'obtenir bien plus rapidement qu'avec le pin noir du bois utilisable. Le *Pinus Strobus* n'a pas répondu jusqu'alors à cette attente. Quant à l'épicéa qui, on le comprend, n'est pas à sa place dans les stations sèches de la pineraie de Neustadt, il s'agissait de savoir si cette essence ne pourrait pas donner des résultats satisfaisants en l'exploitant à une assez courte révolution et en l'irriguant fortement dans les points nombreux de la forêt qui se prêtent facilement à l'irrigation artificielle.

Les parcelles en expérience furent entourées d'un treillis en fil de fer pour les protéger contre les dégâts du gibier. La rigole principale avait une profondeur d'environ 30 centimètres et, à 15 ou 20 centimètres plus bas que le fond de cette rigole, on trouvait la couche de conglomérat absolument impénétrable aux racines et très peu à l'eau. Il y avait une rigole principale pour les pins Weymouth et une autre pour les épicéas, toutes deux perpendiculaires au canal d'irrigation et de ces deux rigoles principales se détachaient, normalement à leur direction, dix paires de rigoles latérales éloignées chacune de $1^{m},60$. Pour irriguer on ouvrait d'abord l'écluse de gauche correspondant aux pins Weymouth ; quand ils étaient suffisamment imbibés, on levait l'écluse de droite correspondant aux épicéas.

L'irrigation de chacun des deux lots ne se faisait pas en une seule fois, mais d'ordinaire en trois reprises, de façon que les dix bandes fussent arrosées progressivement et que l'eau restât dans les rigoles pendant environ huit à quinze minutes.

Les irrigations avaient lieu de la même façon que dans le peuplement naturel dont M. Böhmerle vient de parler, et toujours quand il n'avait pas plu depuis deux ou trois jours. Dans les grandes périodes de sécheresse, on arrosait tous les trois jours. On commençait à verser l'eau en mai et on continuait jusqu'à fin septembre ; on aurait parfaitement pu cesser à la mi-septembre.

La plantation des parcelles en expérience eut lieu du 12 au 15 avril 1901 avec des plants d'épicéa de trois ans repiqués et des pins Wey-

mouth de quatre ans également repiqués et qu'on planta dans des trous faits à la houe. Comme le sol était très enherbé, meuble et presque dépourvu de pierres, la plantation alla très vite. La hauteur moyenne des plants était de 17^{cm},7 pour l'épicéa et de 11^{cm},8 pour le pin Weymouth.

Une série de jours froids et pluvieux suivit la plantation jusque dans le mois de mai ; à partir du 10 mai, la température devint définitivement plus belle et plus chaude. C'est alors que commencèrent les irrigations régulières.

Mentionnons que l'état du pin Weymouth était peu satisfaisant, ce qui peut s'expliquer par ce fait que les racines étaient en partie mangées par le ver blanc. Déjà, à la fin de mai de l'année de la plantation, trente plants moururent dans la parcelle irriguée et vingt-cinq dans l'autre.

Dans la première année (1901) l'irrigation se fit aux jours suivants :

Mai	13	15	18	21	24	27	30				7
Juin.	2	5	8	11	14	16	19	23	26	29	10
Juillet	3	6	10	13	16	19	22	25	28	31	10
Août.	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	10
Septembre . .	2	5	8	20	23	27					6
							Total				43

Et, si l'on retranche de ce total les irrigations du mois de septembre, pendant lequel il n'y a plus d'accroissement, on arrive à un total de trente-sept fois.

Ces irrigations répétées témoignent d'un été sec, comme le montrent aussi les observations ombrométriques de la station météorologique de Neustadt.

Celles-ci ont donné, pour les mois de mai, juin, juillet et août 1901, une lame d'eau de 217 millimètres seulement, qui est inférieure de 304 millimètres à la moyenne obtenue pendant de nombreuses années.

Dans ces conditions on aurait dû s'attendre à trouver dans la partie irriguée une végétation plus active ; mais on ne remarqua pas de différence à l'automne de 1901 entre la parcelle irriguée et l'autre.

L'influence favorable de l'eau pendant la première année d'essai

se traduisit seulement par une moindre proportion de plants morts dans les parties irriguées. Quant à l'accroissement en hauteur il fut sensiblement le même dans les deux parcelles pour l'épicéa ; pour le pin Weymouth il fut même plus fort dans la parcelle témoin.

La première année d'irrigation (1901) fut, pour ainsi dire, sans résultat.

En 1902, la hauteur des plants dans les deux parcelles — irriguée et non irriguée— fut encore sensiblement la même qu'en 1901 ainsi que la proportion de plants morts.

Les épicéas irrigués sont seulement un peu plus beaux à l'œil. Les grandes précipitations atmosphériques des mois de mai, juin, juillet, si importants pour le développement de la végétation, semblent avoir masqué les résultats que l'on attendait de l'irrigation.

En 1903 les épicéas irrigués avaient une belle teinte d'un vert foncé, tandis que les épicéas non irrigués s'étaient moins bien développés. Les années 1903 et 1904 ne donnèrent pas non plus de résultats bien nets au point de vue de la hauteur des plants. L'été de 1904 fut particulièrement sec ; on dut pratiquer quarante-quatre irrigations et commencer dès le mois d'avril. Le taux des plants morts de soif cette année-là fut énorme dans les parcelles témoins, tandis que dans les surfaces irriguées la sécheresse exceptionnelle de 1904 ne causa pas de désastre.

On peut dire seulement que l'épicéa, qui demande des sols frais pour végéter convenablement, peut montrer une belle croissance sur des sols secs, et même très secs, grâce à une irrigation convenable.

La question se pose aussi de savoir s'il n'y aurait pas avantage à arroser les stations dites « maigres » où l'on cherche à stimuler, par l'emploi des engrais verts ou minéraux, des peuplements restant stationnaires.

Les frais nécessaires pour l'irrigation en forêt ne permettront de l'y employer que dans les circonstances où on peut l'installer facilement et où l'on espère pouvoir lutter avec succès contre un danger pressant.

Dr Cieslar.

VINGT ANNÉES D'EXPÉRIENCES

SUR

L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT[1]

Par L. GRANDEAU et A. ALEKAN

I. — Historique sommaire de la question

Émile Baudement, né à Paris en 1816, peut à bon droit être considéré comme l'un des fondateurs de la science de l'alimentation du bétail. Professeur à l'institut agronomique de Versailles, il y créa l'enseignement de la zootechnie basé sur la physiologie. Lorsque, au grand détriment de l'agronomie et de l'agriculture, des vues mesquines provoquèrent la disparition de cette grande école, Baudement fut nommé, au Conservatoire des arts et métiers, titulaire d'une chaire créée pour lui sous le titre « Zoologie appliquée à l'agriculture et à l'industrie », chaire qu'il occupa brillamment jusqu'à sa mort prématurée, survenue en 1863. Il avait quarante-sept ans à peine et laissait inachevé son grand ouvrage sur les races bovines ; mais il avait posé les principes des recherches expérimentales qui devaient conduire, en France et à l'étranger, à formuler les règles scientifiques de l'alimentation des animaux domestiques.

---

1. Nous avons réuni, mon collaborateur Alekan et moi, dans un Album de format grand aigle, sous forme de graphiques et de tableaux accompagnés de notices explicatives, les résultats de nos *Vingt premières années d'expériences sur l'alimentation du cheval de trait*. On peut se procurer cet Album, édité par la Compagnie générale des voitures, en s'adressant au laboratoire de la Compagnie, 91, rue du Ruisseau, ou à a Librairie agricole, 26, rue Jacob. — Prix : 40 fr., *franco* de port et d'emballage.

« L'alimentation du bétail, écrivait-il, est le problème capital de la zootechnie, le plus important et le plus difficile à résoudre ; c'est, à vrai dire, la zootechnie tout entière. »

On peut dire, sans courir le risque d'être taxé de chauvinisme, que la science de l'alimentation, pressentie par Lavoisier, étayée par les recherches de Baudement et de Boussingault, pour ne parler que des morts, est d'origine française ; leurs continuateurs, en France et à l'étranger, ont définitivement assis sur des bases solides les règles qui doivent présider à la fixation des divers régimes alimentaires du bétail, suivant les buts à atteindre dans l'élevage et dans l'exploitation des animaux des races chevaline, ovine, bovine et porcine. Je m'arrêterai spécialement, dans cet historique, à l'alimentation du cheval de service.

Il importe, pour permettre au lecteur de saisir l'importance des progrès réalisés depuis un quart de siècle dans l'ordre des faits que nous aurons à exposer, de préciser quel était, vers 1870, époque à laquelle ont commencé nos études, l'état plus ou moins empirique du régime alimentaire du bétail et particulièrement du cheval.

En ce qui concerne ce dernier, on n'employait guère alors pour composer sa ration que trois denrées : foin, paille, avoine. Les deux premières étaient d'ordinaire distribuées dans le râtelier du cheval, en quantités de 3 à 6 kilogr., suivant la taille de l'animal. La plupart du temps, la quantité de paille devait suffire à la nourriture et au litiérage du cheval, les deux modes d'utilisation étant confondus. Quant à l'avoine, on la distribuait tantôt au poids, tantôt au volume.

Pour aucune de ces denrées, on ne basait la distribution sur des analyses préalables, étant admis implicitement partout, que les termes foin, paille et avoine correspondaient à des produits de valeur alimentaire identique, ou tout au moins très voisins, quelle qu'en fût l'origine.

Il résultait de ces pratiques une inégalité extrême, comme je le montrerai, plus loin, dans la valeur alimentaire de la ration. Celle-ci n'était appréciée que par l'*état* des animaux.

En 1870, les idées régnantes sur l'origine de la force musculaire et, par suite, sur les conditions de la production du travail des animaux et sur les moyens d'y satisfaire par l'alimentation, étaient enta-

chées d'une erreur capitale qu'ont mise en lumière les expériences des physiologistes. Partant de ce fait que les muscles, essentiellement constitués par des matières azotées, sont les organes du mouvement et de la traction, on en avait conclu arbitrairement que dans les substances azotées réside l'origine de la force, la source du travail du cheval, par conséquent. De cette conception erronée découlait la conclusion que plus on demande de travail à un cheval, plus on doit augmenter, dans sa ration, la quantité de matière azotée. Des trois éléments qui composaient la ration du cheval, l'avoine étant de beaucoup la plus riche en cette matière, on était amené à accroître la quantité de grain dans la ration pour ainsi dire proportionnellement à l'augmentation de l'effort musculaire qu'on demandait à l'animal. Nos lecteurs savent que si le muscle est l'instrument du travail, il n'en est point la source, celle-ci résidant essentiellement dans la combustion de la matière sucrée (glycogène) que le sang apporte au muscle et qui s'y renouvelle incessamment par l'afflux de ce liquide.

En résumé, à l'époque déjà lointaine (1871) où M. Maurice Bixio a fait appel à mon concours pour l'étude des modifications à introduire dans le régime alimentaire de la cavalerie de la Compagnie générale des voitures, dont il venait de prendre la direction, la situation pouvait se résumer comme suit :

1° Alimentation exclusive en avoine, paille et foin, sans détermination préalable par l'analyse de la composition de ces denrées ;

2° Distribution de l'avoine au litre et non au poids ;

3° Admission d'une relation plus ou moins étroite entre la matière azotée de la ration et le travail demandé à l'animal.

L'avoine étant l'élément dominant de la ration, dans laquelle elle entrait alors pour plus de moitié, le premier point qui devait attirer notre attention était la composition de ce grain et les variations qui pouvaient exister dans la valeur alimentaire de la ration, suivant : 1° qu'on y utilisait des avoines de diverses provenances ; 2° qu'on basait la composition de la ration sur le poids ou sur le volume du grain qu'on y faisait entrer.

Le rationnement *au volume,* trop fréquemment usité aujourd'hui encore dans certaines écuries, repose sur cette idée fausse qu'un

hectolitre d'avoine pèse en moyenne 50 kilogr. et que, par suite, 16 litres d'avoine par exemple, correspondent à 8 kilogr. de grain. Étant, de plus, admis que l'avoine présente toujours à peu près la même composition, on croit distribuer au cheval le même poids de substances nutritives en lui donnant un volume invariable, 16 litres par jour dans l'exemple que j'ai choisi, d'une avoine quelconque, saine et de bonne qualité marchande.

Il suffira de quelques chiffres pour montrer les erreurs dans lesquelles on tombe soit en donnant l'avoine au litre, soit en la donnant au poids, sans se préoccuper du poids naturel et de la composition réelle des grains [1].

Au mois de novembre 1874, M. Bixio envoyait au laboratoire de la Station agronomique de l'Est huit échantillons d'avoines de provenances très diverses et de poids naturels très différents, en me priant d'en faire l'analyse. Dans sa lettre d'envoi, M. Bixio me disait :

« Le problème que ces analyses ont pour but de résoudre est celui-ci : les avoines de qualités inférieures pour nous, avoines légères, *dont le poids naturel est faible,* sont-elles aussi nourrissantes *à poids égal* que les avoines réputées bonnes par nous, c'est-à-dire à poids naturel élevé ? ou, autrement dit, *1 kilogr. d'avoine légère* contient-il autant de *matières azotées* qu'un kilogramme d'*avoine lourde ?* »

Les huit échantillons se classaient, par ordre de poids naturel, de la façon suivante :

PROVENANCE	POIDS NATUREL de l'hectolitre en kilogrammes
N° 1. Avoine grise du Poitou	51,1
N° 2. — noire de Suède	50,5
N° 3. — de Bretagne	50,0
N° 4. — Beauce de Chartres	45,9
N° 5. — noire de Brie	44,0
N° 6. — noire d'Irlande	44,0
N° 7. — blanche de Russie	43,5
N° 8. — couleur de Bourgogne	41,2

1. Je renverrai le lecteur, pour l'exposé et la discussion de ces questions, aux *Rapports sur les travaux du laboratoire de recherches en 1879.* In-4°, Librairie agricole.

D'après la teneur en matière azotée, l'analyse leur a assigné le classement suivant :

	PROVENANCE	MATIÈRE AZOTÉE
N° 1.	Avoine Beauce de Chartres	10,56 %
N° 2.	— noire d'Irlande	10,38
N° 3.	— couleur de Bourgogne	10,06
N° 4.	— de Bretagne	10,00
N° 5.	— blanche de Russie	9,92
N° 6.	— noire de Brie	9,80
N° 7.	— noire de Suède	9,74
N° 8.	— grise du Poitou	9,45

En comparant ces deux tableaux, on voit qu'il n'existe aucun rapport entre le poids naturel de ces avoines et leur valeur nutritive, l'avoine la plus lourde (grise du Poitou, 51 kilogr. à l'hectolitre) passant au dernier rang pour la richesse en matière azotée, tandis que l'avoine de Beauce (45^{kg},9), la noire d'Irlande (44 kilogr.) et la couleur de Bourgogne (41 kilogr.) viennent en tête du tableau de la valeur nutritive.

En poursuivant cette étude au laboratoire de recherches de la compagnie [1], nous avons constaté que des avoines d'un poids naturel variant de 32 à 51 kilogr. par hectolitre, soit 19 kilogr. d'écart, avaient une teneur *égale* en matière azotée. En consultant le tableau dans lequel j'ai réuni [2] les poids naturels et la composition de cinquante échantillons d'avoine de provenances diverses, on constate que 100 kilogr. d'avoine n° 1, dont le poids de l'hectolitre est de 32 kilogr., représentent 312^{l},5 de grain, tandis que 100 kilogr. de l'avoine n° 51 ne correspondent qu'à 195^{l},6. On voit, de plus, d'après les analyses que :

	MATIÈRES azotées
10 litres d'avoine n° 1 renferment . .	354 grammes
10 litres d'avoine n° 26 — . .	512 —
10 litres d'avoine n° 40 — . .	530 —

1. Voir *Alimentation des chevaux dans les grandes écuries industrielles*. Rapport adressé au conseil de la Compagnie générale des voitures, par M. Bixio, président, in-8°, 1878. Librairie agricole de la maison rustique.

2. *Travaux, loc. cit.*

d'où un écart maximum allant à 180 grammes de matières azotées par 10 litres d'avoine.

La question dès ce moment nous a paru entièrement résolue : il est impossible, on le voit, de tirer du poids naturel d'une avoine quelques conclusions concernant sa valeur nutritive ; l'analyse seule peut nous faire connaître cette dernière, et le rationnement au volume est absolument condamné.

Cette démonstration péremptoire de la nécessité de l'analyse préalable des denrées devant entrer dans la ration du cheval, a été le point de départ de la création du laboratoire de recherches, annexe de la manutention de la Compagnie générale des voitures, qui a permis l'introduction, si favorable à tous égards, du principe des substitutions dans le régime alimentaire de la cavalerie de cette grande écurie industrielle.

II. — La manutention et le laboratoire des recherches de la Compagnie générale des voitures

Je viens de montrer que la connaissance de la composition d'un aliment, de l'avoine que j'ai prise comme exemple, est indispensable pour déterminer le poids du grain qui devra entrer dans la ration du cheval ; on en peut dire autant de toutes les denrées appelées à remplacer l'avoine ou de tout autre élément d'une ration alimentaire. Ces remplacements, auxquels on donne le nom de *substitutions,* sont devenus la base de tous les progrès dans l'alimentation du bétail, et leur introduction dans les écuries industrielles, telles que celles de la Compagnie générale des voitures et de la Compagnie des omnibus, a permis à ces grandes sociétés de réaliser des économies considérables sur la nourriture de leurs cavaleries tout en améliorant l'état des chevaux et leur rendement en travail.

A la suite de nos longs entretiens au sujet de l'alimentation des chevaux de service, s'appuyant sur les nombreuses analyses exécutées de 1871 à 1878 au laboratoire de la Station agronomique de l'Est, et sur les premières applications très heureuses du rationnement du cheval, basé sur les résultats de ces analyses, qui avaient permis d'entrer dans la voie des substitutions, l'éminent directeur de la Compa-

gnie générale des voitures, M. M. Bixio, a exposé à son conseil [1] la nécessité absolue d'assurer à la compagnie une direction scientifique, de créer un laboratoire d'analyses et d'expériences, et d'édifier, en vue d'une préparation rigoureuse de la ration, la manutention centrale chargée d'assurer l'exacte distribution des quantités fixées pour l'alimentation de chaque cheval.

Le conseil de la compagnie ratifiant ces propositions, la création de la manutention et du laboratoire de recherches de la rue du Ruisseau a été décidée et mise immédiatement à exécution.

Le laboratoire de recherches a été fondé à Paris en 1879, dans le but d'appliquer à l'alimentation du cheval de trait les données de la chimie et de la physiologie, et de tirer de cette application, d'une part, des déductions scientifiques d'ordre général, de l'autre, des conclusions pratiques de nature à intéresser la Compagnie des voitures. Antérieurement à cette création, ainsi que je viens de le dire, la Compagnie générale avait déjà adopté, pour l'alimentation de sa nombreuse cavalerie, la méthode des substitutions rationnelles. Les résultats très favorables, obtenus de 1872 à 1878, par l'application de cette méthode, basée uniquement sur la valeur nutritive des fourrages, décidèrent le conseil d'administration de la compagnie à établir, en même temps qu'une manutention générale pour les denrées nécessaires à toute sa cavalerie, un laboratoire d'analyses, pourvu d'une écurie expérimentale et des appareils nécessaires pour les recherches sur l'alimentation des moteurs animés.

En créant ces divers services, la Compagnie générale a voulu faciliter l'application rigoureuse, à toute sa cavalerie, de la méthode des substitutions rationnelles ; mettre en œuvre, d'une façon industrielle, un système alimentaire dont l'expérience lui avait permis d'apprécier les nombreux avantages, et ouvrir largement la voie aux améliorations à apporter dans l'alimentation du cheval de service, en faisant collaborer à cette œuvre la science et la pratique.

Le système d'alimentation de la Compagnie générale présente trois caractères particuliers :

1° Tous les fourrages sont analysés ;

---

1. Rapport de 1878, déjà cité.

2° Ils ne sont distribués qu'après avoir subi un nettoyage complet;

3° Ils ne sont consommés qu'après avoir été mélangés aussi intimement que possible.

Le nettoyage des denrées fourragères a été reconnu indispensable, par suite de la constatation, faite depuis longtemps, que tous les fourrages, même ceux que le commerce regarde comme loyaux et marchands, renferment toujours une notable proportion d'impuretés diverses, et que l'ingestion de ces substances étrangères présente de grands dangers pour la santé des animaux, comme l'ont montré de nombreuses autopsies de chevaux morts de coliques. Aussi le conseil de la compagnie n'a-t-il pas hésité à installer, à la manutention, des appareils spéciaux permettant de faire subir aux grains un nettoyage aussi parfait que possible.

La manutention, qui est chargée de la réalisation pratique du système alimentaire de la compagnie, doit donc, en résumé :

1° Recevoir toutes les denrées nécessaires à la cavalerie;

2° Les nettoyer mécaniquement;

3° Les préparer en vue de la fabrication des rations (aplatissage, concassage, hachage);

4° Les mélanger à l'aide de moyens mécaniques;

5° Ensacher le mélange, le répartir entre les divers dépôts de cavalerie, et le transporter journellement aux lieux de consommation;

6° Conserver, en silos, les denrées qui ne sont pas consommées tout de suite.

Rôle du laboratoire vis-à-vis de la manutention. — Pour que les rations des dix mille chevaux de la compagnie aient une valeur nutritive réellement constante, quelles que soient les denrées employées, il est indispensable que la manutention soit renseignée journellement sur la composition de ces denrées : à cet effet, elle adresse chaque jour au laboratoire un échantillon de tous les fourrages reçus, et d'après la composition chimique déterminée par l'analyse, le laboratoire établit la proportion dans laquelle chaque fourrage doit entrer dans le mélange. On voit, d'après cela, que l'analyse chimique et la détermination de la valeur nutritive des ali-

ments sont les bases de l'établissement des rations de la compagnie ; elles étaient d'ailleurs les seules à adopter, dès l'instant où la compagnie repoussait pour les raisons que j'ai exposées précédemment les deux modes de rationnement, soit en volume, soit en poids, comme conduisant à distribuer des rations de richesse trop variable, suivant les denrées d'abord, et, pour un même fourrage, suivant la provenance et l'année de la récolte.

L'exposé précédent suffit à faire comprendre le rôle de première importance que joue le laboratoire dans l'organisation créée par la compagnie.

On peut dire, d'une façon générale, que ce rôle consiste :

1° A vérifier la qualité et à déterminer la valeur nutritive des fourrages destinés à la cavalerie de la compagnie. A l'heure actuelle, le laboratoire a exécuté plus de vingt-cinq mille analyses de fourrages divers pouvant être consommés par le cheval ;

2° A fixer et à modifier les rations suivant le prix des fourrages, tout en leur conservant la même valeur nutritive, c'est-à-dire à établir une ration de valeur alimentaire maximum et de prix de revient minimum ;

3° A fournir les indications nécessaires à la bonne conservation des grains dans les silos de la manutention ;

4° A établir, par des expériences directes sur le cheval, la valeur alimentaire de chaque fourrage, consommé isolément ou en mélange, en se plaçant dans des conditions aussi variées que celles des chevaux du service de place (repos, marche, travail à différentes allures).

Nous disposons au laboratoire d'une écurie expérimentale organisée pour la récolte intégrale des fèces et de l'urine, et d'un manège dynamométrique destiné à mesurer le travail du cheval dans différentes conditions. Comme le laboratoire, l'écurie d'expériences et le manège ont été installés d'après mes indications ; j'ai également arrêté le plan général des expériences et j'en ai dirigé l'exécution depuis 1879 jusqu'à ce jour. Plusieurs collaborateurs ont participé à cette œuvre de longue haleine, et, parmi eux, je tiens à rappeler les noms de A. Leclerc et H. Ballacey, tous deux disparus prématurément, et qui ont dirigé le laboratoire, le premier de 1879 à 1890, le second de 1890 à 1894, époque à laquelle M. Alekan a succédé à Ballacey.

En 1868, la ration des chevaux de la compagnie était exclusivement composée d'avoine, de foin et de paille; son prix de revient était, par jour, de 2 fr. 70. En 1904, le coût de la ration, par suite des substitutions de denrées auxquelles ont conduit nos expériences au laboratoire de recherches, n'a été que de 1 fr. 175.

De la comparaison de ces chiffres, résultent pour la dépense annuelle de la ration du cheval les constatations suivantes :

En 1868, la ration de l'année coûtait, par tête.	967 fr.
En 1904, elle ne coûtait que	429
D'où une économie, par cheval, de	538 fr.

Rapportée à une écurie industrielle comptant dix mille chevaux, la dépense par année a été :

En 1868.	9 670 000 fr.
En 1904, elle ne s'est élevée qu'à.	4 287 000
L'économie réalisée est de.	5 382 000 fr.

L'introduction du principe des substitutions et la fixation des rations, d'après les résultats des expériences du laboratoire de recherches sur l'alimentation du cheval de trait, ont été les principaux facteurs de ce résultat économique, sur l'importance duquel il me paraît inutile d'insister.

Toute proportion gardée, les cultivateurs, les éleveurs et les propriétaires de chevaux trouveront, dans l'adaptation à leur cavalerie des faits étudiés au laboratoire de recherches de la Compagnie générale, de sérieux avantages.

III. — But, plan et exécution des expériences sur l'alimentation du cheval de trait

L'installation du laboratoire de recherches de la Compagnie générale des voitures a été terminée en 1880. En en prenant la direction générale, j'ai tracé le programme des recherches expérimentales qui, commencées immédiatement, ont été poursuivies sans interruption jusqu'aujourd'hui. Nous comptons donc actuellement vingt-cinq

années d'expériences sur l'alimentation rationnelle du cheval de service, dans les divers états par lesquels il passe : repos, travail au pas et travail au trot.

J'ai été assez heureux pour m'associer, depuis vingt-cinq ans, des collaborateurs aussi distingués que dévoués. Grâce au labeur incessant de Leclerc, de Ballacey et de M. Alekan, très bien secondé par M. Alquier, le laboratoire a pu faire face aux nécessités de la manutention et mener à bonne fin seize séries d'expériences complètes sur l'utilisation de rations composées de fourrages variés. C'est à mes chers collaborateurs que revient la plus grande part des progrès que nous avons pu réaliser dans l'étude de l'alimentation du cheval.

Avant d'aborder l'exposé sommaire de cette longue série d'expériences et d'en dégager les faits utiles à connaître par les agriculteurs, je crois utile d'indiquer brièvement leur but, leur plan général et leur mode d'exécution :

Le but principal des expériences d'alimentation a été de déterminer la composition que doit avoir la ration des chevaux de la compagnie, pour leur permettre de s'entretenir dans les meilleures conditions économiques, tout en effectuant leur travail journalier.

Pour remplir ce programme, nous avons d'abord étudié, en bloc, la valeur alimentaire du mélange que recevaient les chevaux à l'époque où les expériences ont commencé, c'est-à-dire en 1880; puis successivement, de 1880 à 1892, chacun des éléments de ce mélange : foin, avoine, maïs, féverole et tourteau. A partir de cette époque, la Compagnie générale ayant été obligée d'utiliser les aliments industriels en plus grande proportion, par suite de l'augmentation de prix des grains et des fourrages, le laboratoire a étudié l'alimentation aux pommes de terre, celle à la maltine, puis aux granules, pour revenir en 1897 à une nouvelle étude du mélange distribué, à cette date, à la cavalerie, ce mélange différant sensiblement, par sa composition, de celui qu'on utilisait en 1880 [1]. Enfin, depuis 1898, les expériences ont porté sur le rôle du sucre dans l'alimentation chevaline. Tel a été l'enchaînement des divers essais effectués de 1880 à 1904.

---

1. Voir les *Annales de la science agronomique française et étrangère*, 1884, t. II; 1885, t. I; 1886, t. II; 1888, t. II; 1892, t. I; 1893, t. I; 1896, t. II.

Dans chaque expérience, on a étudié, pour les diverses situations où pouvaient se trouver les chevaux de service de la compagnie : — repos, marche, travail à différentes allures, — les questions relatives à la composition et à la digestibilité des rations, à la statique de l'eau et à celle de l'azote ; on a mesuré le travail mécanique effectué, en mettant en parallèle les variations de poids vifs éprouvées par les animaux en expérience.

Le mode d'exécution des expériences a consisté, en principe, à choisir, comme sujets d'expériences et pour chaque mode d'alimentation, trois chevaux aussi comparables que possible entre eux et avec l'ensemble de la cavalerie de la compagnie, et à observer ensuite ces animaux, chacun pendant un mois au minimum, dans les diverses situations de repos, marche au pas et au trot, travail au manège au pas et au trot, travail à la voiture vide et chargée.

Ce sont là les conditions typiques dont on a cherché à se rapprocher le plus possible ; mais il a fallu parfois s'en écarter plus ou moins, ce qui s'explique, si l'on songe à la variété des essais, à leur durée, aux difficultés de toute sorte provenant soit des animaux, soit des aliments, soit des instruments de mesure employés ou même des circonstances climatériques.

En récapitulant l'ensemble des expériences exécutées de 1880 à 1899, on constate qu'elles ont porté sur trente chevaux hongres, pesant de 400 à 500 kilogr. et représentant, par leur origine, leur âge et leur conformation générale, les types moyens des chevaux de service de la compagnie.

C'est dans ces conditions que, pendant des périodes variant de un mois à deux ans, pour un même régime alimentaire, on a journellement déterminé les éléments ci-dessous :

1° Poids des boissons et des aliments consommés ; 2° composition chimique des aliments ; 3° quantité et nature des produits éliminés (urines, fèces, poils, corne, sueur) ; 4° chemin parcouru dans chaque expérience ; vitesse et quantité de travail effectué ; 5° variations de poids vif des animaux d'expérience ; 6° observations thermométriques et hygrométriques.

Les indications précédentes font ressortir, je pense, assez nettement, la marche générale, à la fois scientifique et pratique, des

expériences du laboratoire ; quant aux résultats obtenus, je me bornerai pour l'instant à faire remarquer que l'application journalière qui en est faite à la Compagnie générale sur plus de dix mille chevaux est une preuve décisive de la confiance qu'on peut leur accorder.

Un des points les plus importants de nos études est la démonstration des modifications que l'on peut apporter dans le rapport des matières azotées aux matières hydrocarbonées dans la constitution des rations alimentaires des animaux et, en particulier, du cheval. En 1880, comme je l'ai dit précédemment, au moment où ont été instituées nos recherches expérimentales, on admettait, presque comme un axiome, que la ration d'entretien devait être composée d'une partie en poids de matières azotées et de cinq à six parties de substances hydrocarbonées (amidon, fécule, sucre, etc.). La ration de travail devait présenter un rapport plus étroit : un de matières azotées pour quatre ou cinq au plus d'hydrocarbonés. Nos expériences ont montré, dès le début, que la ration de travail devait, au contraire, être beaucoup plus riche en éléments hydrocarbonés que la ration d'entretien. Nous avons pu avec grand avantage, au point de vue du travail effectué et de l'état du cheval, comme je le montrerai bientôt, étendre la relation nutritive à 1/8, 1/12, 1/15 et même 1/22 (dans l'alimentation au sucre). La conséquence économique de ces faits est aisée à saisir, le prix vénal du kilogramme de matière azotée dans les fourrages étant toujours beaucoup plus élevé que celui du même poids d'aliment hydrocarboné.

Je pense que les propriétaires de chevaux peuvent faire grand profit de cette observation.

IV. — Prix moyens des denrées consommées de 1880 à 1899

Un des facteurs essentiels du coût de la ration alimentaire est le prix des denrées qui servent à la constituer. Ce prix entre naturellement au premier chef en ligne de compte dans l'étude des substitutions qu'on peut faire *économiquement* d'un aliment à un autre.

C'est l'indication des prix moyens pour chacune des années 1880 à 1899 des denrées consommées par la cavalerie de la Compagnie

générale des voitures à Paris, qui servira d'introduction au résumé des travaux du laboratoire. Nous passerons ensuite en revue, en partant du prix de revient du fourrage, le coût, dans chacun d'eux, des principes nutritifs dont ils sont formés : matières azotées, amidon et matières grasses.

Prix moyen de consommation des denrées par quintal (1880-1899).

ANNÉES	AVOINE	MAÏS	FÉVEROLE	FOIN	PAILLE	TOURTEAU	MALTINE	GRANULES
	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
1880. . . .	20 836	18 199	22 702	10 627	7 661	16 118	»	»
1881.	22 108	18 735	21 742	13 391	9 269	15 722	»	»
1882.	22 120	18 629	24 093	14 235	8 498	15 403	»	»
1883.	20 920	18 808	22 955	11 250	6 139	15 469	»	»
1884.	20 680	17 673	22 367	10 736	6 207	15 104	»	»
1885.	20 297	17 265	21 733	10 997	6 063	14 960	»	»
1886.	19 990	15 967	21 116	10 447	5 868	14 163	»	»
1887.	18 631	15 135	20 315	9 947	5 764	13 694	»	»
1888.	17 575	14 581	20 384	9 614	6 350	13 806	»	»
1889.	18 203	14 340	19 280	9 844	6 610	13 622	»	»
1890.	18 410	13 949	18 748	8 826	5 729	13 056	»	»
1891.	18 981	17 739	18 366	9 052	5 071	14 702	»	»
1892.	18 228	18 690	19 934	9 067	5 490	15 007	»	»
1893.	18 290	18 091	20 465	12 686	8 590	15 960	»	»
1894.	17 306	17 208	18 875	13 388	8 264	15 841	»	»
1895.	16 888	16 850	20 025	9 287	5 398	13 633	12 873	»
1896.	16 711	15 264	20 092	10 123	4 883	12 883	12 494	14 902
1897.	16 342	14 840	»	10 328	5 370	12 570	12 377	13 371
1898.	20 376	15 024	»	9 539	5 463	12 882	12 855	13 633
1899.	19 339	15 856	»	9 261	4 858	13 463	13 358	13 799

Ces prix, rapportés au quintal, ont été établis en tenant compte de tous les frais, c'est-à-dire les denrées étant amenées dans la mangeoire des chevaux ; aussi les a-t-on désignés sous le nom de : *Prix moyens de consommation*. Leur groupement permet de juger d'un coup d'œil les fluctuations du marché, pour une même denrée, pendant vingt ans et de comparer les prix des huit principales denrées utilisées par la compagnie.

On peut considérer les denrées énumérées dans ce tableau, comme formant trois catégories :

1° Les grains : avoine, maïs, féverole ;

2° Les fourrages : paille et foin ;

3° Les aliments industriels : tourteaux, maltine, granules.

Grains. — Si l'on range les trois espèces de grains utilisés, par ordre de prix décroissant, on obtient le classement ci-après : féverole, avoine, maïs.

A l'exception des années 1881 et 1891, la féverole a toujours coûté plus cher que l'avoine et le maïs, pendant la période de 1880 à 1896. Elle ne figure plus dans le tableau à partir de 1897, son emploi ayant été suspendu depuis cette époque. Son prix maximum a été atteint en 1882 (24 fr. 09) et son prix minimum (18 fr. 37) en 1891 ; le prix moyen de toute la période est de 20 fr. 77. Nous verrons plus tard que la cherté de la féverole n'en fait pas cependant une denrée désavantageuse ; en effet, pour juger de l'avantage réel que peut présenter l'emploi d'un aliment, il faut tenir compte non seulement de son prix sur le marché, mais encore de sa composition chimique.

L'avoine s'est, en général, maintenue à un prix intermédiaire entre les prix de la féverole et du maïs, sauf en 1892, où le maïs a été exceptionnellement cher. C'est, d'ailleurs, dans la période de 1892-1895 que le maïs s'est élevé à des prix très voisins de ceux de l'avoine, sous l'influence combinée de quelques mauvaises récoltes et des droits nouvellement mis en vigueur. L'avoine a atteint son prix maximum en 1882 (22 fr. 12), comme la féverole, et elle est descendue à un minimum de 16 fr. 34 en 1897, pour dépasser depuis cette époque le prix de 20 fr.

Quant au maïs, il a été relativement cher de 1880 à 1885 (maximum 18 fr. 81 en 1883) ; son prix s'est progressivement abaissé jusqu'en 1890, où il a été minimum (13 fr. 95) ; considérablement relevé de 1891 à 1895, il s'est maintenu ensuite aux environs de 15 fr. 50.

Si l'on établit la moyenne des prix annuels de 1880 à 1899, on trouve : pour l'avoine, 19 fr. 11 ; pour le maïs, 16 fr. 64.

Fourrages. — Les fourrages bruts consommés d'une façon régulière par la cavalerie de la compagnie ont été le foin et les pailles d'avoine et de blé. La consommation du foin a beaucoup perdu de son importance à la compagnie depuis que les expériences du laboratoire ont démontré combien cet aliment était mal utilisé par le cheval ; par contre, celle de la paille a suivi une marche inverse, et les données numériques réunies à propos de cette denrée ont d'autant plus d'intérêt qu'elles s'appliquent à des quantités considérables mises en consommation. Les prix moyens établis pour la paille s'appliquent à des approvisionnements mixtes de paille d'avoine et de paille de blé, dans lesquels cette dernière a toujours été en moins grande quantité, la paille d'avoine lui ayant été préférée comme plus savoureuse et plus recherchée par les chevaux.

Les prix maximum, minimum et moyen ont été les suivants :

	PRIX		
	maximum	minimum	moyen
Foin	14f,23	8f,83	10f,63
Pailles	9,27	4,86	6,83

En dehors des années 1881-1882 d'une part, 1893-1894 d'autre part, où la sécheresse a fait hausser les prix des fourrages d'une façon anormale, ces denrées n'ont pas éprouvé de variations considérables dans leurs prix.

Aliments industriels. — Ils sont au nombre de trois : les tourteaux, utilisés depuis 1880, la maltine depuis 1895, et les granules depuis 1896. Les tourteaux employés sont à base de maïs et d'orge ; la maltine est un résidu séché provenant du traitement du maïs en distillerie par le procédé au malt ; les granules sont des agglomérés fabriqués par la compagnie avec divers sous-produits industriels, qui sont mélangés dans des proportions réglées sur leur composition chimique et soumis ensuite à une véritable cuisson. La caractéristique de ces trois sortes d'aliments est leur teneur élevée en matières azotées et grasses ; l'intérêt tout particulier que présentent les granules provient de la facilité que l'on a d'utiliser seulement ainsi des sous-produits irréprochables et de faire varier la valeur

alimentaire du produit fabriqué avec la composition des aliments employés.

Les prix des trois aliments industriels consommés se sont toujours maintenus entre ceux des grains et des fourrages, en suivant assez régulièrement les variations de prix du maïs. Ainsi, en ce qui concerne les tourteaux, les prix ont graduellement diminué de 1880 à 1890, brusquement monté de 1891 à 1894, pour redescendre au minimum de 12 fr. 57 en 1897. Les prix moyens ont été :

Tourteaux.	14f,35
Maltine	12 ,80
Granules	13 ,93

C'est la maltine qui a donc été la moins chère et c'est elle aussi dont les prix ont le moins varié.

Nous verrons, au cours de cette étude, quels aliments se sont montrés les plus économiques.

Voici quelques renseignements sur les aliments industriels.

Nous avons eu, M. Alekan et moi, l'occasion d'analyser beaucoup de produits industriels soumis par leurs producteurs à l'appréciation du laboratoire ; plusieurs de ces matières ont même été expérimentées. J'aurai occasion d'en parler plus tard. Mais jusqu'ici il n'est entré régulièrement dans la nourriture des chevaux de la compagnie que trois aliments industriels : la maltine, les tourteaux et les granules.

C'est précisément au sujet de ces trois produits que m'ont consulté beaucoup d'éleveurs, désireux d'en connaître la composition exacte, le prix vénal et le lieu de production ou d'achat. Pour compléter les indications qui précèdent, j'examinerai successivement chacun de ces aliments, répondant ainsi, je pense, aux desiderata exprimés par mes correspondants.

Je rappellerai d'abord que nous désignons sous le nom d'aliments industriels les substances qui, à l'inverse de la paille, des grains, du foin, ne se rencontrent pas à l'état naturel et sont des résidus ou sous-produits du traitement industriel de végétaux, en vue d'en retirer certaines matières, la plupart comestibles : telles qu'amidon et fécule, huile ou substances grasses, sucre ou alcool.

La maltine et les tourteaux appartiennent à cette catégorie, ce sont des résidus des industries qui traitent les grains : maïs, orge, seigle, etc., en vue de l'extraction de l'amidon ou de la transformation de cette dernière en alcool. Les granules diffèrent essentiellement de la maltine et des tourteaux par leur origine et leur mode de préparation, dont je parle plus loin.

Maltine. — On désigne sous ce nom le résidu séché de la transformation du maïs dans son traitement, en distillerie, par le malt (ou orge germée). La diastase de l'orge transforme en sucre, destiné à fournir ensuite de l'alcool par fermentation, l'amidon du grain de maïs. Ce dernier qui, à l'état naturel, contient une proportion d'amidon et congénères voisine de 68 à 70 °/₀ et 8 à 9 °/₀ de matière azotée (protéine brute), perd dans les traitements qu'on lui fait subir la plus grande partie de son amidon, et le résidu qui n'en renferme plus guère que 18 à 19 °/₀ se trouve enrichi, proportionnellement à cette perte, en matière azotée que les opérations subies par le maïs n'ont que très faiblement enlevée. De là, résulte un produit secondaire appelé maltine, dont voici la composition moyenne que je rapproche de celle du maïs :

	MALTINE	MAÏS
	°/₀	°/₀
Eau	9,18	14,67
Matières sèches	90,82	86,13
Cellulose brute	4,12	3,03
Graisse	9,15	4,15
Matières azotées	25 à 26	9,25
Amidon	18,4	60,41

On voit, d'après ces chiffres, que la maltine, beaucoup moins riche en amidon que le maïs qui a servi à l'obtenir, est, en revanche, beaucoup plus riche que ce grain, en graisse et en protéine ; elle contient deux fois plus de matières grasses, et près de trois fois autant de matière azotée que le grain dont elle provient. La maltine constitue, en somme, un aliment concentré riche en les deux éléments nutritifs du prix le plus élevé (au kilogramme) dans les fourrages, protéine et graisse.

En ce qui regarde les deux principes minéraux les plus importants dans les aliments, l'acide phosphorique et la chaux, voici le résultat

moyen des analyses nombreuses faites au laboratoire de recherches depuis que l'on a fait entrer la maltine dans le régime alimentaire de la compagnie :

	MALTINE	MAÏS
	%	%
Cendres	5,66	1,29
Acide phosphorique	1,71	0,51
Chaux	1,23	0,02

La maltine est, des trois aliments industriels que nous examinons, le meilleur marché. Son prix de revient moyen à la manutention, depuis que nous l'employons, a été de 12 fr. 80 les 100 kilogr. contre 14 fr. 35 pour les tourteaux et 13 fr. 93 pour les granules.

Les deux autres aliments industriels qui, avec la maltine, figurent dans les mélanges de fourrages consommés par la cavalerie de la Compagnie des voitures, sont les tourteaux et les granules.

Tourteaux. — On désigne dans le commerce, sous le nom de *tourteaux,* des résidus industriels de provenance, de composition et de valeur alimentaire très différentes.

Les tourteaux que nous avons introduits, avec grand avantage, dès la création de la manutention, c'est-à-dire en 1881, dans le régime des chevaux de la compagnie, ont eu constamment, bien que fournis par divers fabricants, une origine identique. Ce sont des résidus du traitement du maïs et parfois de l'orge en vue de l'extraction de l'amidon de ces graines ou de sa transformation en alcool (tourteaux d'amidonnerie ou de distillerie). Suivant le mode de traitement des grains, la composition des tourteaux varie dans d'assez larges limites. Ceux que la cavalerie consomme depuis plusieurs années présentent la composition moyenne suivante, que je rapprocherai, comme je l'ai fait pour la maltine, de celle du maïs :

	TOURTEAU	MAÏS
	%	%
Eau	12,87	14,87
Substances sèches	87,13	85,36
Cellulose brute	10,87	3,03
Graisse	5,73	4,15
Matières azotées	20,62	9,25
Amidon	20 à 25	61,00

C'est sur la graisse et sur les matières azotées que porte l'enrichissement des résidus en principes nutritifs, comme dans le cas de la maltine, mais à un degré sensiblement moindre, la diminution du taux d'amidon suivant à peu près la même marche que dans la maltine.

La teneur en cendres, celle de l'acide phosphorique et de la chaux, ont été trouvées, en moyenne, les suivantes :

Cendres	6,29 °/₀
Acide phosphorique.	1,03
Chaux	0,82

Je n'aurais, au sujet des cendres, aucune remarque à faire, si je ne croyais devoir mettre les acheteurs de tourteaux, de la catégorie de ceux que consomme la cavalerie de la compagnie, en garde contre les agissements répréhensibles de certains fournisseurs. Le taux de 6 °/₀ de matières minérales qui, après incinération, constituent les cendres, peut être regardé comme à peu près normal, c'est-à-dire correspondant à la teneur en principes minéraux que renferment naturellement les matières premières dont les tourteaux sont les résidus. Or, on constate parfois à l'analyse une teneur plus que double, parfois triple, de substances minérales dans certaines livraisons, le chiffre des cendres montant à 14, 15 et 18 °/₀ du poids du tourteau. Lorsqu'on constate une pareille teneur en cendres, il importe de déterminer leur nature, certain qu'on est d'être conduit par l'analyse à découvrir une falsification. Il arrive qu'on découvre que l'excédent des cendres sur leur poids normal provient d'une addition accidentelle, mais beaucoup plus probablement volontaire, de sable, au tourteau. En principes nutritifs la teneur du produit ainsi adultéré se trouve donc abaissée proportionnellement à l'addition de sable inerte ; il y a là un dol dont le consommateur ne saurait trop chercher à s'affranchir ; l'analyse préalable d'un échantillon du tourteau à livrer et sa composition rapprochée de l'analyse d'un échantillon prélevé à l'arrivée de la marchandise, peut mettre à l'abri de cette fraude, ou tout au moins permettre à l'acheteur d'exercer contre le vendeur une revendication nécessaire.

Il y a donc lieu, d'après ce qui précède, d'exiger formellement dans le contrat avec le vendeur la garantie d'une teneur maximum (6 à 7 °/₀ par exemple) de cendres, comme on doit en exiger une pour teneur en eau du produit (12 à 14 °/₀ au maximum), en même temps qu'on aura une garantie de teneur minima en matières azotées et en matières grasses.

Les tourteaux de maïs bien fabriqués, exempts de toute addition de substances étrangères, valent, en moyenne, 13 à 14 fr. les 100 kilogr. — Les distilleries et amidonneries du Nord sont les principaux centres de production des tourteaux.

Granules. — L'aliment concentré qu'on désigne, sous ce nom, à la Compagnie générale, est fabriqué à la manutention de la compagnie pour l'usage exclusif de sa cavalerie. Il ne se trouve donc point dans le commerce. Les granules sont le produit d'un mélange de farine de fèves, de son de blé, d'issues de riz, de drêches de distillerie, qu'on malaxe avec de l'eau afin d'en faire une pâte homogène. Cette pâte est divisée mécaniquement en petites masses ou granules du volume de quelques centimètres cubes, et desséchée dans des appareils spéciaux. La préparation et le malaxage se font à froid.

Les conditions de prix des denrées, leur abondance plus ou moins grande, servent de bases à la fixation des proportions de chacune d'elles entrant dans la préparation des granules. Comme exemple de la composition moyenne des granules, je citerai les chiffres suivants :

Eau	13,18 °/₀
Substances sèches	86,82
Cellulose	10,84
Graisse	5,01
Matières azotées	21,73
Amidon (suivant la nature des matières premières)	20 à 32

Le taux des cendres oscille autour de 6 °/₀ ; celui de l'acide phosphorique est d'environ 1,65 °/₀ ; celui de la chaux 0,21 °/₀. Le prix de revient à la manutention des 100 kilogr. de granules est d'environ 14 fr.

V. — Prix du kilogramme de matières azotées dans les denrées alimentaires du cheval

Nous avons indiqué (p. 151) le prix des différentes denrées utilisées à la Compagnie générale des voitures à Paris pour la nourriture de la cavalerie. Étant donnés ces prix, nous avons eu à déterminer le coût du kilogramme des trois grands groupes de principes nutritifs dans chacune des neuf denrées entrant dans les rations, savoir : matières azotées, hydrocarbonées (fécule et amidon) et grasses. La matière azotée étant celle qui coûte de beaucoup le plus cher dans les aliments, je commencerai par elle.

Pour établir les prix réunis dans le tableau ci-après, nous sommes partis des prix moyens de consommation et de la composition chimique moyenne annuelle des denrées, en suivant une méthode que je vais exposer succinctement.

Pour fixer les idées, prenons comme exemple les avoines livrées à la compagnie en 1899, au prix de 19 fr. 34, et cherchons comment a été obtenu le prix de revient de 85 cent. pour le kilogramme de protéine de ces avoines. Ces avoines ont présenté la teneur moyenne suivante en principes nutritifs bruts :

Pour les matières non azotées	59,46 %
Pour les matières grasses	4.09
Pour les matières azotées (protéine).	9,60

En désignant par x le prix du kilogramme de *matières non azotées,* et en appliquant respectivement à la graisse et aux matières azotées les facteurs 2,33 et 5,22 dont j'explique plus loin l'origine, on obtient la relation suivante :

$$59{,}46x + (4{,}09 \times 2{,}33)\,x + (9{,}60 \times 5{,}22)\,x = 19 \text{ fr. } 34.$$

D'où l'on déduit :

$$x = 0 \text{ fr. } 1624,$$

et par suite

$$5{,}22\,x = 0 \text{ fr. } 85.$$

prix de la protéine dans les avoines de 1899, tel qu'il figure dans le tableau ci-après.

Voyons maintenant comment on détermine les coefficients 2,33 et 5,22 affectés à la graisse et aux matières azotées :

Parmi les trois cent cinquante analyses d'avoine effectuées en 1899, choisissons-en trois, ayant donné :

	TAUX °/o
Pour les matières non azotées.	a, a', a'';
Pour la graisse	b, b', b'';
Pour les matières azotées	c, c', c''.

En désignant respectivement par X, Y, Z les prix du kilogramme de ces divers principes nutritifs, nous aurons le système d'équations suivant :

$$a\,X + b\,Y + c\,Z = 19{,}34$$
$$a'X + b'Y + c'Z = 19{,}34$$
$$a''X + b''Y + c''Z = 19{,}34$$

La résolution de ce système nous donnera certaines valeurs pour X, Y, Z.

Si maintenant nous répétons ce calcul sur plusieurs systèmes de trois équations formées comme les précédentes, nous obtiendrons pour X, Y et Z une série de valeurs, dont nous désignerons les moyennes par Xm, Ym, Zm. Il est donc facile d'avoir les rapports $\frac{Xm}{Ym}$ et $\frac{Zm}{Xm}$ qui représentent, pour l'année 1899, les prix d'un kilogramme de graisse et d'un kilogramme de matières azotées dans l'avoine, en supposant égal à l'unité de prix du kilogramme de matières non azotées.

Appliquant ensuite la même méthode aux analyses d'avoines consommées pendant une série d'années (de façon à avoir des résultats plus rigoureux), on obtient pour les rapports $\frac{Ym}{Xm}$ et $\frac{Xm}{Zm}$ différentes valeurs, dont les moyennes finales donnent précisément 2,33 et 5,22 pour prix respectifs d'un kilogramme de graisse et d'un kilogramme de matières azotées, dans l'hypothèse où les matières non azotées valent 1 fr. Ces coefficients étant déterminés, on peut, ainsi qu'on vient de le montrer, établir facilement le prix du kilogramme des différents principes nutritifs bruts, dans une avoine quelconque, dont on connaît la composition et le prix de revient, en prenant

comme unique inconnue du problème le prix du kilogramme de matières non azotées. C'est ainsi qu'on a trouvé plus haut le prix de 16 cent. pour le kilogramme de matières non azotées dans les avoines de 1899, et qu'on en a déduit le prix de la protéine dans ces mêmes avoines : 85 cent.

Le même mode de calcul s'applique, bien entendu, aux autres denrées ; mais pour chaque groupe (grains, fourrages, aliments industriels), il y a des coefficients différents, qu'il faut déterminer comme l'ont été les coefficients 2,33 et 5,22, si l'on veut avoir une base d'évaluation aussi exacte que possible. Mon regretté collaborateur A. Leclerc, qui a fait de très nombreuses déterminations à ce sujet, est arrivé finalement aux résultats suivants :

Le kilogramme de matières non azotées valant 1 fr., le kilogramme de graisse vaut 2 fr. 33 dans les grains (avoine, maïs, féverole), 2 fr. 04 dans les fourrages (foin, paille), 2 fr. 42 dans les aliments industriels azotés (tourteaux, maltine, granules) ; et le kilogramme de matières azotées vaut 5 fr. 22 dans les grains, 2 fr. 97 dans les fourrages, 5 fr. 90 dans les aliments industriels non azotés.

Tels sont les coefficients qui nous ont servi à établir, année par année, les prix de revient du kilogramme des différents principes nutritifs bruts, dans les huit denrées principales de la compagnie, prix qui figurent dans le tableau ci-après et dans ceux que je reproduirai ensuite. Je ne discuterai pas ici les inconvénients de la méthode qui vient d'être exposée, pas plus que de toutes celles qu'on a employées pour résoudre la question qui nous occupe. Cette méthode ne donne pas évidemment de résultats exacts *en valeur absolue*, mais elle permet d'établir, entre les différentes denrées, des comparaisons qui ne manquent pas d'intérêt.

Nous voyons que, de toutes les denrées consommées de 1880 à 1899, c'est *l'avoine qui a livré le kilogramme de protéine au prix le plus élevé* pendant toute cette période ; ce résultat n'a rien de surprenant, si on compare seulement l'avoine et le maïs, ce dernier ayant une teneur en protéine très voisine de celle de l'avoine et ayant, d'autre part, un prix de revient moindre ; mais il n'en est plus de même si on compare l'avoine ou le maïs avec la féverole ; dans ce cas, on constate que c'est la féverole qui est la plus avanta-

geuse, malgré son prix de revient très élevé, puisqu'elle a fourni, en moyenne, le kilogramme de protéine à 59 cent. cette même protéine valant 68 cent. dans le maïs et 85 cent. dans l'avoine.

Prix du kilogramme de protéine.

ANNÉES	AVOINE	MAÏS	FÉVEROLE	FOIN	PAILLE	TOURTEAU	MALTINE	GRANULÉS
	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
1880.	0,91	0,81	0,71	0,48	0,41	0,54	»	»
1881.	0,99	0,77	0,58	0,54	0,48	0,52	»	»
1882.	1,00	0,78	0,67	0,56	0,40	0,49	»	»
1883.	0,92	0,78	0,68	0,46	0,32	0,53	»	»
1884.	0,90	0,70	0,63	0,45	»	0,51	»	»
1885.	0,86	0,73	0,60	»	»	0,52	»	»
1886.	0,85	0,67	0,57	»	»	0,45	»	»
1887.	0,81	0,61	0,57	»	0,27	0,43	»	»
1888.	0,75	0,59	0,56	»	0,33	0,45	»	»
1889.	0,81	0,60	0,54	»	»	0,47	»	»
1890.	0,81	0,59	0,55	»	»	0,44	»	»
1891.	0,82	0,73	0,48	»	0,27	0,53	»	»
1892.	0,80	0,78	0,55	»	0,25	0,52	»	»
1893.	0,78	0,75	0,59	»	0,28	0,59	»	»
1894.	0,73	0,71	0,59	»	0,43	0,56	»	»
1895.	0,72	0,68	»	»	0,43	0,46	0,33	»
1896.	0,69	0,62	»	»	0,27	0,44	0,32	0,56
1897.	0,67	0,61	»	»	0,29	0,43	0,31	0,41
1898.	0,83	0,61	»	»	0,28	0,48	0,33	0,41
1899.	0,85	0,65	»	»	0,27	0,52	0,34	0,45

Dans les fourrages, on trouve que le foin, considéré au point de vue de la protéine, est moins avantageux que la paille ; les résultats moyens obtenus pour ces deux denrées (dans les années où les éléments analytiques ont été reconnus suffisants) sont 49 cent. pour le foin, 33 cent. pour la paille.

Remarquons, en passant, la hausse anormale des années 1881-1882 d'une part, 1893-1894 d'autre part ; pour ces dernières, la sécheresse suffit à l'expliquer.

En ce qui concerne les aliments industriels, les variations des prix

de la protéine sont moindres que dans les autres denrées : ces prix eux-mêmes ne sont supérieurs qu'à celui trouvé pour la paille.

En moyenne, ils sont de 49 cent. dans les tourteaux ; 46 cent. dans les granules ; 33 cent. dans la maltine.

La maltine, dont le prix de consommation est inférieur à celui des grains et des autres résidus d'industrie [1], a donc encore l'avantage de livrer la protéine au prix minimum. Sa substitution à la féverole (dont elle se rapproche par sa composition) est donc parfaitement justifiée au point de vue économique. On voit en même temps que les substitutions du maïs à l'avoine et de la paille au foin, envisagées au même point de vue, méritent d'attirer l'attention.

Les chiffres inscrits dans le tableau ci-contre peuvent être d'une grande utilité, malgré l'absence de valeur absolue, pour les cultivateurs et les propriétaires de chevaux désireux de calculer le coût des substitutions dans les rations. Pour ce faire, il leur suffira de les rapprocher de la composition moyenne des fourrages qu'ils peuvent se procurer.

VI. — Prix du kilogramme d'amidon

Le tableau ci-après est relatif au prix du kilogramme d'amidon dans les denrées consommées de 1880 à 1899 à la Compagnie générale des voitures à Paris.

Je ne reviendrai pas sur la méthode employée pour déterminer ces prix, ayant donné sur ce sujet, dans le paragraphe précédent, toutes les explications nécessaires ; mais je ferai remarquer que le mot amidon désigne ici l'ensemble des *matières non azotées brutes,* c'est-à-dire non seulement l'amidon proprement dit, mais encore la cellulose saccharifiable, les sucres et les indéterminés (gommes, pentosanes, corps pectiques, etc.).

On a vu précédemment que, pour chaque groupe d'aliment (grains, fourrages, aliments industriels), nous avons trouvé un rapport constant, d'environ 1/3, 1/5 ou 1/6 suivant le cas, entre le prix des matières non azotées et celui de la protéine ; il en résulte que les variations observées dans le prix de la protéine doivent se retrou-

1. Voir page 156.

ver dans ceux de l'amidon ; c'est d'ailleurs ce que la lecture du tableau ci-dessous permet de constater.

Prix du kilogramme d'amidon.

ANNÉES	AVOINE	MAÏS	FÉVEROLE	FOIN	PAILLE	TOURTEAU	MALTINE	GRANULES
	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
1880.	0,17	0,14	0,14	0,15	0,14	0,09	»	»
1881.	0,19	0,15	0,11	0,18	0,16	0,09	»	»
1882.	0,19	0,15	0,13	0,19	0,13	0,08	»	»
1883.	0,18	0,15	0,13	0,15	0,11	0,09	»	»
1884.	0,17	0,13	0,12	0,15	»	0,09	»	»
1885.	0,16	0,14	0,11	»	»	0,09	»	»
1886.	0,16	0,13	0,11	»	»	0,08	»	»
1887.	0,15	0,12	0,11	»	0,09	0,07	»	»
1888.	0,14	0,11	0,11	»	0,11	0,08	»	»
1889.	0,15	0,11	0,10	»	»	0,08	»	»
1890.	0,15	0,11	0,10	»	0,09	0,07	»	»
1891.	0,16	0,14	0,09	»	0,08	0,09	»	»
1892.	0,15	0,15	0,10	»	0,09	0,09	»	»
1893.	0,15	0,14	0,11	»	0,14	0,10	»	»
1894.	0,14	0,14	0,10	»	0,14	0,09	»	»
1895.	0,14	0,13	»	»	0,09	0,08	0,06	»
1896.	0,13	0,12	»	»	0,09	0,07	0,05	0,09
1897.	0,13	0,12	»	»	0,10	0,07	0,05	0,07
1898.	0,16	0,12	»	»	0,09	0,08	0,06	0,07
1899.	0,16	0,12	»	»	0,09	0,09	0,06	0,08

On voit ainsi que, parmi toutes les denrées utilisées de 1880 à 1890, l'avoine et le foin ont livré le kilogramme d'amidon au prix moyen le plus élevé ; viennent ensuite, par ordre décroissant, le maïs, la féverole, la paille, puis les tourteaux, les granules et en dernier lieu la maltine. Voici, d'ailleurs, les prix moyens du kilogramme d'amidon dans les trois groupes de denrées.

GRAINS		FOURRAGES		ALIMENTS INDUSTRIELS	
Avoine. . .	0f,16	Foin. . . .	0f,16	Tourteaux. .	0f,08
Maïs. . . .	0,13	Paille. . . .	0,11	Granules . .	0,08
Féverole. . .	0,11			Maltine. . .	0,06

Ces résultats montrent qu'en ce qui concerne l'amidon, la féverole est un aliment beaucoup plus avantageux que l'avoine et un peu plus que le maïs, malgré son prix d'achat élevé ; le même fait a d'ailleurs été constaté à propos de la protéine.

Dans les fourrages proprement dits, la paille s'est montrée plus économique que le foin ; enfin, dans les aliments industriels, la valeur du kilogramme d'amidon consommé a dépassé à peine la moitié de celle qu'il a atteinte dans les grains et les fourrages, et c'est la maltine qui l'a livré constamment au prix minimum.

Ces diverses observations s'appliquent, bien entendu, aux moyennes des prix relevés pour chaque denrée ; on peut constater, il est vrai, dans le tableau, que dans telle année, 1894 par exemple, l'amidon a été aussi cher dans la paille que dans l'avoine, tandis que dans telle autre, comme 1891, l'amidon de la paille a été exceptionnellement bon marché, au-dessous même de celui des tourteaux ; mais ce sont là des anomalies dues à des conditions spéciales, soit climatériques, soit économiques, et qui n'infirment en rien les remarques ci-dessus.

Dans la pratique des substitutions de denrées à la ferme on peut assigner, sans grand inconvénient, une valeur moyenne de 10 cent. au kilogramme de matières hydrocarbonées (amidon, etc.). La matière non azotée est, des trois groupes d'éléments nutritifs, celle qu'on peut se procurer au meilleur marché.

VII. — Prix du kilogramme de graisse

Des trois groupes de principes nutritifs qui constituent les aliments, la matière grasse est celle que l'analyse arrive le moins rigoureusement à caractériser. On est convenu de désigner sous le nom de graisse l'ensemble des matières extraites des aliments par dissolution dans le sulfure de carbone ou dans l'éther.

Dans la longue série d'études sur les denrées alimentaires faites au laboratoire de recherches de la Compagnie générale des voitures, on a trouvé un rapport constant entre le prix des *matières non azotées et celui de la graisse* pour les aliments d'un même groupe

(grains, fourrages et aliments industriels). Il résulte de là que les prix de la graisse présentent, pour un même groupe, la même allure générale que ceux de l'amidon.

On ne saurait donc s'étonner que l'avoine ait fourni la matière grasse au prix maximum pendant toute la période envisagée, puisque le même fait a été constaté pour l'amidon.

Prix du kilogramme de la graisse dans les denrées

ANNÉES	AVOINE	MAÏS	FÉVEROLE	FOIN	PAILLE	TOURTEAU	MALTINE	GRANULES
	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
1880.	0,40	0,33	0,32	0,31	0,28	0,22	»	»
1881.	0,44	0,34	0,26	0,37	0,33	0,21	»	»
1882.	0,44	0,35	0,30	0,38	0.27	0,20	»	»
1883.	0,41	0,35	0,30	0,31	0.22	0,22	»	»
1884.	0,40	0,31	0.28	0,31	»	0,21	»	»
1885.	0,38	0,33	0,27	»	»	0,21	»	»
1886.	0,38	0,30	0,26	»	»	0,18	»	»
1887.	0,36	0,27	0,26	»	0,18	0,18	»	»
1888.	0,33	0,26	0,25	»	0,23	0,18	»	»
1889.	0,36	0,27	0,24	»	»	0,19	»	»
1890.	0,36	0,26	0,24	»	0,19	0,18	»	»
1891.	0,37	0,33	0,22	»	0,17	0,22	»	»
1892.	0,36	0,35	0,25	»	0.19	0,21	»	»
1893.	0,35	0,33	0,36	»	0,29	0,24	»	»
1894.	0,32	0,32	0,25	»	0.30	0.23	»	»
1895.	0,32	0,30	»	»	0,19	0,19	0,14	»
1896.	0,31	0,27	»	»	0,18	0.18	0,13	0,23
1897.	0,30	0,27	»	»	0,20	0,18	0,13	0.17
1898.	0,37	0,27	»	»	0.19	0,19	0,13	0,17
1899.	0,38	0,29	»	»	0,18	0,21	0.14	0,18

Les autres grains se sont montrés, sous ce rapport, plus avantageux, le maïs se classant après l'avoine dans l'ordre décroissant des prix et la féverole étant, ici encore, le plus économique des trois grains consommés par la cavalerie.

En ce qui concerne les fourrages bruts, la paille a livré constam-

ment la graisse à bien meilleur compte que le foin. Quant aux aliments industriels, ils ont été plus avantageux que toutes autres denrées, tant sous ce rapport que sous celui de la protéine et de l'amidon. A remarquer que la maltine a fourni la matière grasse au prix minimum, sensiblement inférieur au prix trouvé dans les tourteaux et dans les granules.

Si, pour chaque denrée, on établit la moyenne des prix du kilogramme de graisse, on arrive aux résultats suivants :

GRAINS		FOURRAGES		ALIMENTS INDUSTRIELS	
Avoine . . .	0f,37	Foin . . .	0f,34	Tourteau. . .	0f,20
Maïs	0,30	Paille. . .	0,22	Granules . . .	0,19
Féverole. . .	0,27			Maltine: . . .	0,13

En rapprochant ces résultats de ceux qu'on a précédemment trouvés pour l'amidon et la protéine, on arrive en fin de compte à classer dans l'ordre suivant les huit denrées consommées, en commençant par celle qui a donné les principes nutritifs bruts aux prix les plus élevés :

1. Avoine.
2. Foin.
3. Maïs.
4. Féverole.
5. Paille.
6. Tourteau.
7. Granules.
8. Maltine.

Cette classification ne correspond pas du tout, on le voit, à l'échelle décroissante des prix des mêmes denrées (voir le tableau de la page 151.

D'après le prix d'achat du quintal des huit aliments, ceux-ci se trouvent, en effet, classés dans l'ordre suivant :

1. Féverole.
2. Avoine.
3. Maïs.
4. Tourteau.
5. Granules.
6. Maltine.
7. Foin.
8. Paille.

On voit donc que, surtout pour la féverole, le foin et la paille, le prix d'achat ne peut pas, à lui seul, servir de base à une estimation exacte de la valeur économique de la denrée.

VIII. — Prix de l'unité nutritive dans les aliments du bétail

Nous avons vu comment on peut établir les prix de revient du kilogramme des différents principes nutritifs du bétail et quelles conclusions nous avons pu en tirer sur la valeur comparative des aliments du cheval. Nous avons pensé qu'il était intéressant de compléter cette étude, déduite de calculs assez compliqués, et d'en contrôler les résultats à l'aide de la méthode imaginée par le professeur J. Kühn, de Halle, que tout cultivateur peut aisément appliquer. Cette méthode consiste à calculer le nombre d'*unités nutritives* que contiennent 100 kilogr. d'un aliment quelconque, en partant des conventions suivantes :

L'expérience a montré qu'il existe un rapport assez étroit entre la valeur alimentaire des trois grands groupes de principes nutritifs : éléments hydro-carbonés (amidon), graisse, protéine digestible. On a été conduit à admettre les rapports suivants :

1 kilogr. de matières non azotées digestibles représente une unité nutritive ;

1 kilogr. de graisse digestible est compté pour 2,44 unités nutritives ;

1 kilogr. de matières azotées digestibles est compté pour 6 unités nutritives.

Partant de cette base, on multiplie respectivement par 6 et par 2,44 les poids des matières *digestibles* azotées et grasses contenues dans 100 kilogr. d'aliment et qu'indiquent, en l'absence d'analyses directes, les tables de composition des fourrages (tables de E. Wolff, de J. Kühn). A ces deux produits additionnés, on ajoute les hydrocarbonés digestibles, et le total de ces opérations représente le nombre d'unités nutritives contenues dans 100 kilogr. de l'aliment en question. Connaissant d'autre part le prix de la denrée, on déduit aisément, à l'aide du nombre qu'on vient de trouver, la *valeur-argent de l'unité nutritive* dans cette denrée. On peut ainsi comparer les prix de revient de la somme des principes nutritifs des divers fourrages.

Cette méthode, appliquée aux huit denrées employées dans nos

expériences sur l'alimentation du cheval, a fourni, pour la période 1880-1899, les résultats inscrits dans le tableau ci-dessous.

Prix moyen de l'unité nutritive (méthode de J. Kühn).

ANNÉES	AVOINE	MAÏS	FÉVEROLE	FOIN	PAILLE	TOURTEAU	MALTINE	GRANULES
	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
1880.	0,2490	0,1910	0,1644	0,2767	0,2781	0,1463	»	»
1881.	0,2715	0,1985	0,1331	0,3248	0,3278	0,1392	»	»
1882.	0,2741	0,2015	0,1546	0,3479	0,2748	0,1313	»	»
1883.	0,2512	0,1996	0,1568	0,2806	0,2177	0,1423	»	»
1884.	0,2484	0,1082	0,1446	0,2741	»	0,1417	»	»
1885.	0,2343	0,1881	0,1378	»	»	0,1388	»	»
1886.	0,2325	0,1713	0,1314	»	»	0,1270	»	»
1887.	0,2234	0,1580	0,1325	»	0,1859	0,1160	»	»
1888.	0,2136	0,1530	0,1300	»	0,2286	0,1197	»	»
1889.	0,2205	0,1555	0,1247	»	»	0,1252	»	»
1890.	0,2223	0,1509	0,1297	»	0,1866	0,1159	»	»
1891.	0,2251	0,1887	0,1115	»	0,1707	0,1402	»	»
1892.	0,2193	0,1996	0,1273	»	0,1851	0,1386	»	»
1893.	0,2133	0,1924	0,1356	»	0,2864	0,1556	»	»
1894.	0,1986	0,1841	0,1279	»	0,3025	0,1472	»	»
1895.	0,1979	0,1761	»	»	0,1884	0,1216	0,0844	»
1896.	0,1866	0,1654	»	»	0,1818	0,1154	0,0820	0,1656
1897.	0,1835	0,1558	»	»	0,1952	0,1143	0,0795	0,1113
1898.	0,2267	0,1575	»	»	0,1903	0,1251	0,0835	0,1124
1899.	0,2323	0,1674	»	»	0,1830	0,1146	0,087	0,1244

Pour établir la composition des différentes denrées en éléments digestibles, nous nous sommes servi de la composition moyenne annuelle de ces denrées, calculée d'après les analyses du laboratoire, et des coefficients de digestibilité déterminés par nos expériences directes sur le cheval.

J'ajouterai que les matières azotées digestibles ont été comptées en bloc, c'est-à-dire sans déduction des amides [1].

1. On sait qu'on désigne sous ce nom des substances azotées qui ne sont pas de la protéine : les amides, abondantes dans les fourrages verts, luzerne, etc., existent en faible quantité dans les huit denrées expérimentées par nous, ce qui permet de les négliger dans le calcul de leur valeur nutritive.

Dans les matières non azotées, on n'a pas tenu compte de la très faible proportion de cellulose brute digestible utilisée par le cheval.

Poursuivi dans de telles conditions, le calcul de la valeur-argent de l'unité nutritive dans les différentes denrées donne lieu à des remarques intéressantes.

Si l'on embrasse l'ensemble de la période 1880-1899 pour les huit aliments consommés, on constate des écarts très sensibles dans le prix de l'unité nutritive dans les différents fourrages, c'est-à-dire dans le prix du kilogramme d'hydrocarbonés digestibles pris comme point de départ ; on voit, en effet, ce prix, qui était d'environ 35 cent. dans le foin en 1882, descendre en 1897 à 8 cent. dans la maltine, éprouvant ainsi une diminution de plus des trois quarts de sa valeur. Même en se bornant aux variations de prix dans une même denrée, on constate encore que l'écart entre les prix extrêmes a atteint 16 cent. dans la paille, 9 cent. dans l'avoine, 7 cent. dans le foin, pour descendre à 5 cent. dans le maïs, la féverole, les granules, à 4 cent. dans les tourteaux, et à moins de 1 cent. dans la maltine. C'est donc dans le foin que l'unité nutritive a atteint son prix maximum, dans la paille qu'elle a subi les plus grandes variations de prix et dans la maltine qu'elle a eu à la fois la valeur la plus constante et la plus faible.

En établissant la moyenne, par denrée, des prix de l'unité nutritive, pour les vingt années, on obtient les valeurs suivantes :

Prix moyen de l'unité nutritive

Foin.	0f,30	Féverole. . . .	0f,14
Avoine	0,23	Tourteaux . . .	0,13
Paille	0,22	Granules. . . .	0,13
Maïs.	0,18	Maltine	0,08

Ces résultats montrent que, des huit aliments expérimentés, le foin est le moins avantageux de tous, celui qui livre le kilogramme d'hydrocarbonés digestibles au prix le plus élevé, et la maltine, au contraire, la denrée la plus économique. Parmi les grains, l'avoine est moins avantageuse que le maïs et la féverole, et cette dernière, malgré le bas prix de son unité nutritive, ne peut pas lutter au point

de vue économique avec la maltine, qui lui a été substituée dans les rations courantes de la Compagnie.

Le classement des denrées auquel nous avait conduit la méthode employée précédemment (voir page 167), savoir : avoine, foin, maïs, féverole, paille, tourteaux, granules, maltine, était presque semblable à celui que donne ici l'emploi de la méthode Kühn. On peut se rendre compte de la façon suivante que les deux systèmes fournissent, quand on les interprète convenablement, des indications tout à fait voisines. Dans le premier système, on détermine, comme l'a fait A. Leclerc, la valeur du kilogramme des différents principes nutritifs *bruts* (protéine, amidon, graisse) à l'aide de coefficients déduits de nombreuses analyses ; dans la méthode J. Kühn, on évalue le prix du kilogramme des matières non azotées *digestibles*, en affectant les autres éléments digestibles de coefficients conventionnels.

Il est donc possible de comparer les résultats trouvés pour le kilogramme de matières non azotées (amidon) brutes par la première méthode, avec ceux trouvés par la méthode Kühn pour les matières non azotées digestibles ; il suffit, pour cela, de tenir compte de la digestibilité des matières non azotées, dans lesquelles on ne fait entrer ni la graisse ni la cellulose brute, comme on l'a vu plus haut. Prenons comme exemples l'avoine et le foin ; la première nous a donné :

Pour 1 kilogr. de matières non azotées brutes : dans l'avoine, 0 fr. 156 ; dans le foin, 0 fr. 164.

La digestibilité de ces matières, d'après les expériences du laboratoire, est de 76,76 °/₀ dans l'avoine et 45,84 °/₀ dans le foin. Avec ces données, on trouve alors que :

1 kilogr. de matières non digestibles vaut : dans l'avoine, 20 cent. ; dans le foin, 36 cent.

Ces résultats se rapprochent beaucoup de ceux que fournit la méthode Kühn et qui sont : pour l'avoine, 23 cent. ; pour le foin, 30 cent.

On peut conclure, en résumé :

1° Que le prix des denrées ne permet pas, sans le concours de leur composition chimique, de les apprécier à leur valeur réelle ;

2° Que les aliments classiques du cheval ; foin, avoine, paille,

sont moins avantageux, au point de vue économique, que le maïs et la féverole, et surtout que les aliments dits industriels.

Ces conclusions présentent, suivant nous, un très réel intérêt pour les cultivateurs, en leur permettant de se rendre compte de la valeur des différents fourrages dont ils disposent pour l'alimentation de leur écurie.

IX. — Teneur en principes nutritifs bruts de la ration journalière du cheval de place

Dans les chapitres précédents, nous avons envisagé, séparément et *au seul point de vue économique,* chacune des denrées entrant dans les rations des chevaux de la Compagnie générale des voitures. Nous nous proposons d'examiner maintenant les résultats que la compagnie a obtenus, *au point de vue alimentaire,* en mélangeant ces mêmes denrées et en les substituant les unes aux autres, dans des proportions déterminées par leur composition chimique. Le tableau ci-après indique, pour chacune des années 1882 à 1899, la teneur de la ration moyenne journalière en principes nutritifs bruts ; avant de le commenter, nous croyons indispensable d'indiquer les caractères essentiels du système d'alimentation de la Compagnie générale.

Dans ce système, les chevaux ne consomment que des aliments *mélangés,* parfaitement *nettoyés* au préalable, et dont les uns (grains et tourteaux) sont *concassés,* tandis que les autres sont *hachés :* la paille par exemple. Ainsi préparé, ce mélange de fourrages et d'aliments concentrés permet au cheval une mastication plus parfaite et, par suite, une assimilation plus régulière et plus complète.

En outre, grâce aux analyses de son laboratoire, la compagnie est toujours à même de donner à ses chevaux des rations en rapport avec leurs besoins et *de valeur nutritive rigoureusement constante,* malgré la variété des denrées employées et des substitutions pratiquées pour des raisons économiques.

Les chevaux de la compagnie travaillant, en général, un jour sur deux, il a été reconnu indispensable de leur donner des rations différentes, le jour de repos et le jour de travail. On sait, en effet, que l'animal s'entretient presque exclusivement à l'aide des *réserves* accumu-

lées dans son organisme, les aliments venant chaque jour reconstituer ces réserves, au fur et à mesure de leur utilisation. Il résulte de là que l'alimentation du jour de repos doit être plus forte que celle du jour de travail.

Le jour de repos, les chevaux reçoivent, en quatre repas, le mélange dont il est question plus haut, composé de 5/10 de grains, 3/10 de paille et 2/10 d'aliments industriels azotés.

Le jour de travail, ils reçoivent :

1° Avant leur départ de l'écurie : 1/4 du mélange précédent ;

2° Au cours du travail : une ration de grain (4 kilogr. d'avoine par exemple) ;

3° A leur rentrée à l'écurie : une ration contenant 4/5 de grains et 1/5 de paille.

Le poids total de ces diverses rations, destinées à entretenir le cheval pendant deux jours, tout en lui permettant de fournir un travail d'environ 1 million de kilogrammètres, a toujours été d'au moins 18 kilogr. ; la *ration journalière moyenne* a donc constamment dépassé le poids de 9 kilogr. C'est précisément la composition en principes nutritifs bruts de cette *ration journalière moyenne* (pour la période de 1882 à 1899) qui fait l'objet du tableau ci-après.

Les denrées utilisées pendant cette période ont été assez nombreuses ; outre les aliments classiques du cheval (avoine, foin, paille), on a employé le maïs, le seigle, l'orge, le blé et le sarrasin, les tourteaux, la maltine et les granules. Cependant, malgré la diversité de ces éléments, on a toujours conservé à la ration moyenne la même valeur alimentaire.

Le tableau ci-après donne la composition de la ration journalière en principes nutritifs, savoir : 1° matière sèche ; 2° cendres ; 3° hydrocarbonés (cellulose et matières non azotées) ; 4° graisse ; 5° matières azotées totales ; 6° eau ; 7° acide phosphorique et chaux contenus dans la ration.

Comme on le voit, la quantité de chacun des principes nutritifs a peu varié dans cette longue période d'expériences ; il en est de même de l'eau : on peut fixer à $1^{kg},350$ la quantité moyenne d'eau consommée par le cheval de place dans sa ration journalière.

L'année 1889 appelle une remarque spéciale ; elle doit être envi-

sagée à part, la ration ayant été augmentée en raison du surcroît de travail de la cavalerie pendant l'exposition universelle. Il n'y a donc pas lieu de s'étonner que les poids de presque tous les éléments nutritifs atteignent, pendant cette année-là, leur valeur maxima.

Teneur en principes nutritifs bruts de la ration moyenne journalière du cheval de place.

ANNÉES	EAU	MATIÈRE sèche	CENDRES	CELLULOSE brute	GRAISSE	MATIÈRES azotées	MATIÈRES non azotées	ACIDE phosphorique	CHAUX
1882. .	1,338	7,761	0,350	1,168	0,302	0,900	5,037	0,076	0,033
1883. .	1,372	8,033	0,347	1,160	0,316	0,924	5,282	0,080	0,034
1884. .	1,334	7,874	0,336	1,120	0,320	0,896	5,201	0,075	0,031
1885. .	1,337	7.893	0,337	1,146	0,319	0,895	5,191	0,074	0,031
1886. .	1,337	7,909	0,327	1,177	0,320	0,897	5.236	0,070	0,229
1887. .	1,369	8,111	0,312	1,107	0,329	0,901	5,459	0,065	0,027
1888. .	1,364	8,096	0,309	1,109	0,328	0,903	5,442	0,063	0,226
1889. .	1,425	8,511	0,323	1,158	0,351	0,977	5,702	0,063	0,025
1890. .	1,362	8,102	0,282	1,056	0,325	0,900	5,539	0,057	0,021
1891. .	1,359	8,107	0,307	1,126	0,332	0,912	5,430	0,058	0,024
1892. .	1,346	8,124	0,363	1,305	0,335	0,933	5,184	0,064	0,028
1893. .	1,343	8,104	0,300	1,090	0,315	0,896	5,502	0,058	0,024
1894. .	1,366	8,132	0,280	1,038	0,330	0,904	5,577	0,055	0,022
1895. .	1,328	8,126	0,330	1,162	0,327	0,923	5,383	0,061	0,026
1896. .	1,331	8,064	0,332	1,165	0,355	0,892	5,320	0,055	0,026
1897. .	1,333	7,977	0,328	1,157	0,364	0,887	5,240	0,054	0,026
1898. .	1,312	7,948	0,325	1,132	0,365	0,899	5,229	0,055	0,027
1899. .	1,284	7,809	0,318	1,103	0,363	0,894	5,130	0,054	0,027

Exception faite pour 1889, on constate à l'aide de ce tableau les variations suivantes dans le taux journalier des différents principes nutritifs :

Moins de 300 grammes pour la matière sèche et la cellulose ;

Environ 50 grammes pour la graisse et les matières azotées ;

Plus de 500 grammes pour les matières non azotées.

Ces variations équivalent aux fractions ci-après :

1/25 du poids de la matière sèche ;

1/4 de celui de la cellulose ;

1/7 de celui de la graisse ;

1/20 de celui des matières azotées ;

1/10 de celui des matières non azotées.

Sauf pour la cellulose brute (ligneux), dont le rôle est d'ailleurs assez restreint dans l'alimentation du cheval, ces variations ont donc été minimes, et ce résultat mérite d'autant plus d'attirer l'attention que la ration du cheval de la compagnie a subi dans la nature des denrées qui la composent de fréquentes modifications dont les principales ont été :

1° L'admission simultanée du maïs et de l'avoine, dans des proportions variables avec les années, suivant les cours du marché ;

2° La diminution progressive du foin au profit de la paille et sa suppression complète depuis 1889 ; nous reviendrons plus tard sur ce point très important ;

3° La substitution de la maltine à la féverole depuis 1895 ;

4° La distribution, en quantités variables, de tourteaux depuis 1882 ;

5° L'introduction des granules fabriqués par la compagnie depuis 1896.

En résumé, on constate que tous ces changements n'ont pas influé sur la *ration journalière* qui, pendant la période 1882-1899, ne s'est pas écartée sensiblement de la teneur moyenne suivante en principes nutritifs bruts :

Matière sèche	$8^{kg},037$
Cendres	0 ,322
Acide phosphorique	0 ,063
Chaux	0 ,027
Cellulose	1 ,138
Graisse	0 ,327
Matières azotées	0 ,907
— non azotées	5 ,338

Cette ration concorde exactement avec les résultats constatés dans les expériences faites dès l'origine au laboratoire, en 1881-1882.

Tout ce qui précède se rapporte aux quantités de principes nutritifs *bruts* contenus dans les denrées qui ont constitué les rations. Or nos lecteurs savent qu'une partie seulement des matières azotées,

grasses et amylacées des aliments est utilisée par l'animal : il faut donc examiner la composition des rations en principes *digestibles*, les seuls que l'animal utilise pour son entretien. C'est ce que nous ferons, après avoir indiqué la composition centésimale de chacune des denrées expérimentées au laboratoire de recherches de 1880 à 1899 et introduites dans le régime alimentaire de la cavalerie de la compagnie.

X. — Teneur en principes digestibles de la ration journalière du cheval de place

Nous venons de faire connaître la teneur en *principes nutritifs bruts* de la ration journalière du cheval de place pendant la période 1882-1889. C'est de la teneur de la même ration en *principes nutritifs digestibles*, représentée dans le tableau ci-contre, qui va nous occuper.

La disposition générale de ce tableau est la même que celle du précédent, exception faite pour les cendres, qui n'y figurent pas, faute de données précises sur leur digestibilité : les quantités des autres principes (matière sèche, cellulose, matières non azotées, graisse et matières azotées) sont inscrites dans le même ordre que dans le tableau précédent.

La teneur de la ration en principes digestibles a été déduite de la teneur en principes bruts, à l'aide de l'application des coefficients de digestibilité déterminés, pour chacun de ces principes, dans les expériences sur le *mélange* faites au laboratoire en 1881 et 1897 avec les rations consommées, dans ces années, par le cheval de place.

Ces expériences ont porté, en 1881, sur une ration dans laquelle entrait du *foin* et, en 1897, sur une ration d'où ce fourrage était exclu et qui contenait une plus grande quantité d'aliments industriels que la précédente.

On a donc appliqué les coefficients de digestibilité déterminés en 1881 à toutes les rations de la période de 1882 à 1888, ces rations ayant contenu du foin, et ceux fournis par les expériences de 1897 aux rations de 1889 à 1899, dans lesquelles le foin a été supprimé

et les aliments industriels ont été employés en plus grande quantité.

Teneur en principes nutritifs digestibles de la ration moyenne journalière du cheval de place.

ANNÉES	MATIÈRE sèche	CELLULOSE brute	GRAISSE	MATIÈRES azotées	MATIÈRES non azotées
1882	5,245	0,482	0,174	0,643	3,692
1883	5,429	0,478	0,182	0,660	3,872
1884	5,321	0,462	0,184	0,640	3,812
1885	5,334	0,472	0,184	0,640	3,805
1886	5,345	0,485	0,184	0,641	3,838
1887	5,481	0,456	0,189	0,643	4,001
1888	5,471	0,457	0,189	0,645	3,989
1889	6,154	0,564	0,209	0,721	4,686
1890	5,859	0,514	0,124	0,664	4,552
1891	5,862	0,548	0,198	0,673	4,463
1892	5,874	0,636	0,199	0,689	4,260
1893	5,860	0,531	0,188	0,661	4,522
1894	5,880	0,506	0,196	0,667	4,583
1895	5,876	0,566	0,195	0,681	4,424
1896	5,831	0,567	0,211	0,658	4,372
1897	5,768	0,563	0,217	0,654	4,306
1898	5,747	0,551	0,217	0,664	4,297
1899	5,647	0,537	0,216	0,660	4,216

Nous indiquerons bientôt la valeur de ces coefficients et nous entrerons à leur sujet dans les détails nécessaires. Ici, nous ferons seulement remarquer que les coefficients de digestibilité trouvés pour les principes nutritifs des rations qui ne contenaient pas de foin se sont montrés supérieurs à ceux des rations dans lesquelles entrait cette denrée. Il n'y a donc pas lieu de s'étonner si l'examen du tableau ci-dessus fait ressortir, depuis 1890, une augmentation dans la teneur en principes digestibles. (L'année 1889 doit être regardée comme exceptionnelle et mise à part pour les raisons indiquées précédemment.)

Comme la teneur en principes nutritifs bruts n'a pas sensiblement

varié depuis 1890, ainsi que le montre le tableau (p. 174), l'augmentation constatée pour les éléments digestibles est donc entièrement due à la *digestibilité plus grande* des rations distribuées depuis cette époque. Cette augmentation porte d'ailleurs sur tous les principes nutritifs : azotés, gras ou hydrocarbonés, mais principalement sur ces derniers, ainsi que le montre le tableau. En faisant la moyenne des résultats de ce tableau, on trouve que, de 1882 à 1899, la *ration journalière* du cheval de place a renfermé les quantités suivantes de *principes digestibles :*

Matière sèche.	5kg,637
Cellulose.	0 ,518
Graisse	0 ,195
Matières azotées.	0 ,658
— non azotées	4 ,177

Ces quantités se sont montrées amplement suffisantes pour permettre à un cheval de 400 à 450 kilogr. de s'entretenir, en effectuant tous les deux jours un travail minimum de 1 million de kilogrammètres. (Les chevaux de la Compagnie des voitures font, dans leur jour de sortie, jusqu'à 50, 60 kilomètres et davantage quelquefois.)

On remarquera que le rapport des matières azotées digestibles aux matières non azotées digestibles (la graisse étant calculée en amidon à l'aide du coefficient 2,44) est exprimé, dans cette ration moyenne, par la fraction : 1/7,1, soit 1 kilogr. de matière azotée pour 7kg,100 de matières hydrocarbonées.

Telle est la *relation nutritive* que la Compagnie générale des voitures à Paris a été conduite à adopter pour ses rations, à la suite des essais de l'année 1882. La valeur de ce rapport a été constamment confirmée depuis cette époque, par les expériences poursuivies au laboratoire de recherches. Le passage à 1/7 de la relation nutritive, fixée autrefois à 1/4,5, est un fait d'une importance économique considérable, sur lequel on ne saurait trop insister auprès des agriculteurs et des éleveurs. Il constitue un des points les plus intéressants et des mieux établis par une pratique de vingt années, à savoir : la démonstration des modifications économiques que l'on peut apporter dans le rapport des matières azotées aux matières hydrocar-

bonées, dans la constitution des rations alimentaires des animaux et, en particulier, du cheval.

En 1880, au moment où ont été instituées nos recherches expérimentales, on admettait, presque comme un axiome, que la ration d'*entretien* du cheval devait être composée d'une partie en poids de matières azotées et de cinq à six parties de substances hydrocarbonées (amidon, fécule, sucre, etc.). La ration de travail devait présenter un rapport plus étroit encore : 1 de matières azotées pour 4 ou 5, au plus, d'hydrocarbonées. Nos expériences ont montré, dès le début, et le fait s'est constamment vérifié, que la ration de travail doit, au contraire, être beaucoup plus riche en éléments hydrocarbonés que la ration d'entretien. Nous avons pu, avec grand avantage, au point de vue du travail effectué et de l'état du cheval, étendre la ration nutritive à 1/8, 1/12, 1/5 et même à 1/22 (dans l'alimentation au sucre, comme nous le montrerons plus loin.

La conséquence économique de ces faits est aisée à saisir, le prix vénal du kilogramme de matière azotée dans les fourrages étant, nous l'avons vu, toujours beaucoup plus élevé que celui du même poids d'aliment hydrocarboné.

XI. — Composition des denrées consommées de 1889 à 1899

Les vingt premières années d'expériences que j'ai poursuivies au laboratoire de recherches de la Compagnie générale des voitures, avec la collaboration successive d'A. Leclerc, Ballacey et Alekan, ont porté sur seize rations différentes par la nature des denrées qui les composaient, mais identiques, comme on l'a vu, sous le rapport de leur teneur en principes nutritifs (voir le tableau page 177).

En 1881, nos chevaux d'expériences ont reçu la ration adoptée cette année-là, sur les indications du laboratoire, pour toute la cavalerie de la compagnie. En 1897, il en a été de même, la ration distribuée aux chevaux d'expériences étant celle que la cavalerie recevait.

Outre ces deux études des rations-mélange, nous avons expérimenté la valeur alimentaire des divers éléments de ces mélanges, fourragés soit isolément, soit associés en nombre restreint, pou

constituer une ration de valeur nutritive équivalente à celle de la ration-mélange. C'est ainsi que nous avons expérimenté successivement les rations suivantes :

1. Foin seul.
2. Avoine seule.
3. Avoine et paille.
4. Maïs et paille d'avoine.
5. Maïs et paille de blé.
6. Féverole.
7. Tourteau.
8. Pomme de terre et paille.
9. Pomme de terre, maïs, féverole et paille.
10. Maltine.
11. Granules cuits.
12. Sucre et foin.
13. Sucre et granules.
14. Sucre et maïs.

Il importe, pour pouvoir suivre utilement les résultats des expériences d'alimentation à l'aide de ces denrées, résultats que nous exposerons plus loin, de connaître leur composition centésimale ; elle nous a servi à établir la composition des rations. Le tableau suivant fournit, à ce sujet, des indications complètes que les cultivateurs pourront utiliser pour calculer les substitutions à introduire dans le rationnement de leur bétail.

La contexture de ce tableau ne demande pas d'explications ; elle n'appelle qu'une seule remarque relative à la dernière colonne intitulée *Indéterminés*. Nous désignons sous ce nom les matières autres que celles qui figurent dans les premières colonnes et que leur complexité rend difficiles à caractériser (corps pectiques, pentosanes, etc.), substances dont le rôle dans l'alimentation est jusqu'ici imparfaitement connu.

Douze denrées différentes font l'objet des seize expériences d'alimentation : on peut les ranger en trois catégories :

1° Les grains et analogues : avoine, maïs, féverole, seigle et pommes de terre ;

2° Les fourrages : paille d'avoine, paille de blé et foin ;

3° Les aliments industriels : tourteau, maltine, granules et sucre.

Ces denrées, de qualité irréprochable, ont toujours été tirées des approvisionnements destinés à la cavalerie de la compagnie ; au cours de chaque essai, on a prélevé, à de fréquents intervalles, des échantillons dans les lots consommés par les chevaux d'expériences, et ce sont ces nombreux échantillons qui ont servi aux analyses. Ces analyses représentent donc, aussi exactement que possible, la composi-

tion moyenne des aliments dont il s'agit. Parmi ces aliments, nous ne mentionnerons en particulier que les pommes de terre et le sucre, les autres ayant déjà donné lieu, dans les paragraphes précédents, à des commentaires suffisants : les pommes de terre provenaient de tubercules découpés en cossettes et séchés dans le vide à basse température ; quant au sucre, employé dans trois des expériences, c'était du sucre cristallisé, dit *sucre roux de premier jet*.

Composition moyenne centésimale des denrées d'expériences.

DENRÉES	EAU	MATIÈRE sèche	CENDRES	MATIÈRES azotées	CELLULOSE brute	CELLULOSE saccharifiable	GLUCOSE	SACCHAROSE	AMIDON	GRAISSE	INDÉTERMINÉS
	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o
Mélange 1881											
Avoine	13,57	86,43	3,54	9,61	8,22	Comprise avec l'amidon	1,00	»	46,61	4,35	13,10
Maïs	13,31	86,69	1,57	9,66	1,54		1,43	»	64,52	3,09	4,88
Féverole	9,95	90,05	4,48	28,54	5,92		1,66	»	45,48	1,38	2,59
Tourteau	12,10	87,90	1,58	18,41	2,71		0,35	»	51,69	8,30	1,86
Foin	13,96	86,04	7,41	8,23	20,44		0,58	»	21,23	1,43	26,42
Paille	15,09	84,91	5,40	2,97	29,43		0,38	»	22,22	1,45	26,06
Foin											
Foin	13,38	86,82	7,22	6,89	18,86	15,58	3,10	»	5,16	2,05	27,76
Avoine seule											
Avoine	14,34	85,66	3,01	11,28	9,33	Comprise avec les indéterminés	1,10	»	40,20	3,68	16,75
Avoine et paille											
Avoine	13,60	86,40	3,12	10,53	7,44	Comprise avec les indéterminés	0,93	»	42,59	3,73	18,06
Paille	12,01	87,99	5,75	2,93	26,33		0,74	»	4,47	1,71	46,06
Maïs et paille d'avoine											
Maïs	13,38	86,62	1,52	9,86	2,95	3,09	1,90	»	62,69	4,02	0,59
Paille d'avoine	13,66	86,34	5,52	2,62	31,09	16,37	1,62	»	2,69	1,96	24,47
Maïs et paille de blé											
Maïs	15,49	84,51	0,84	9,32	2,15	2,82	2,57	»	58,16	3,64	4,71
Paille de blé	15,17	84,83	7,21	3,02	25,79	13,30	2,87	»	3,36	0,92	28,36
Féverole											
Féverole	12,41	87,59	4,05	24,23	5,58	5,01	3,91	»	40,28	1,25	3,28
Paille d'avoine	14,57	85,43	5,55	3,19	27,07	14,06	2,30	»	5,27	1,93	25,73

DENRÉES	EAU	MATIÈRE sèche	CENDRES	MATIÈRES azotées	CELLULOSE brute	CELLULOSE saccharifiable	GLUCOSE	SACCHAROSE	AMIDON	GRAISSE	INDÉTERMINÉES
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Tourteaux											
Tourteau	11,06	88,94	6,76	18,72	6,67	5,96	2,42	»	28,45	4,91	15,05
Paille d'avoine. .	13,73	86,27	5,71	3,31	29,51	13,74	1,50	»	4,98	1,55	25,94
Pomme de terre et paille											
Pomme de terre .	12,93	87,07	3,81	7,85	2,70	2,73	1,85	»	63,47	0,36	4,30
Paille d'avoine. .	12,70	87,30	5,53	3,90	32,06	16,91	0,93	»	2,20	1,86	23,88
Mélange de pomme de terre, maïs et féverole avec paille											
Mélange	13,36	86,64	2,95	10,08	4,11	2,82	1,39	»	61,58	1,72	1,99
Paille d'avoine. .	17,16	82,84	5,50	3,35	29,27	16,56	0,75	»	2,51	1,96	22,94
Maltine											
Maltine	9,18	90,82	5,66	23,55	4,13	5,88	5,07	»	18,40	9,15	16,98
Maïs.	12,28	87,72	1,24	9,60	1,28	6,25	2,56	»	60,41	2,56	2,80
Paille d'avoine. .	12,88	87,12	5,06	2,66	30,27	16,38	1,27	»	2,84	1,65	26,97
Granules cuits											
Granules.	7,53	92,47	4,10	23,39	10,49	6,56	2,05	»	32,49	5,96	7,43
Paille d'avoine. .	10,32	89,68	4,89	2,40	36,01	27,28	2,04	»	1,72	1,72	13,62
Mélange 1897											
Avoine	12,23	87,77	3,34	12,68	11,39	11,63	1,32	»	34,52	5,89	7,00
Maïs.	12,37	87,63	1,18	10,01	3,47	7,32	2,22	»	53,79	4,16	5,48
Seigle	12,89	87,11	1,85	8,83	3,68	8,15	2,80	»	51,78	1,79	8,23
Maltine	9,62	90,38	5,53	28,20	7,65	9,28	5,49	»	13,31	9,98	10,94
Tourteaux	12,87	87,13	6,29	20,62	10,87	11,46	1,72	»	19,02	5,73	11,42
Paille d'avoine. .	14,08	85,92	5,81	3,07	32,67	16,47	1,08	»	3,22	1,90	21,80
Sucre et foin											
Sucre	0,80	99,20	0,45	»	»	»	1,36	97,39	»	»	»
Foin	13,62	86,38	7,19	6,52	25,30	12,46	2,19	»	4,11	1,38	27,23
Sucre et granules											
Sucre	0,86	99,14	0,38	»	»	»	1,69	97,07	»	»	»
Granules	13,00	87,00	5,52	22,29	10,88	4,40	2,43	»	20,02	6,20	15,26
Maïs.	12,37	87,63	1,31	9,55	3,29	2,00	0,93	»	59,14	4,14	7,27
Paille d'avoine. .	12,62	87,38	5,46	2,39	33,13	13,69	0,48	»	2,42	1,59	28,22
Sucre et maïs											
Sucre	1,07	98,93	0,42	»	»	»	1,48	97,03	»	»	»
Maïs.	13,66	86,34	1,29	9,42	3,94	2,74	1,41	»	57,06	3,48	6,80
Paille d'avoine. .	16,15	83,85	6,04	2,36	33,61	13,90	0,63	»	2,47	1,37	23,47

La composition générale de ces denrées donne lieu aux remarques suivantes :

1° La teneur en matière sèche a pour valeurs extrêmes : 83 °/₀ dans la paille et 99 °/₀ dans le sucre ; elle est plus constante dans les grains et les aliments industriels que dans la paille et plus élevée, en général, dans les aliments industriels que dans les grains et la paille.

2° La teneur en cendres totales varie de 0,38 °/₀ dans le sucre à 7,41 °/₀ dans le foin ; les fourrages bruts (paille et foin) sont plus riches en cendres que toutes les autres denrées, mais il faut tenir compte de la part importante de la silice dans leur teneur élevée en matières minérales. D'après leur richesse en cendres, les denrées expérimentées se classent comme suit :

Foin, paille, maltine, tourteau, granules, féverole, pommes de terre, avoine, seigle, maïs et sucre ; c'est-à-dire : fourrages, aliments industriels et grains en dernier lieu ;

3° Au point de vue des matières azotées, les aliments industriels (sauf le sucre, bien entendu) viennent en tête avec des teneurs allant de 18 à 20 °/₀ ; la féverole peut être placée sur le même rang que la maltine, puis viennent les autres grains : avoine, maïs, seigle et, enfin, la pomme de terre et les fourrages (foin et paille). Les teneurs extrêmes étant de 2,36 °/₀ dans la paille d'avoine et de 28,54 °/₀ dans la féverole, on voit que l'écart est bien supérieur à celui que l'on trouve pour la matière sèche et les cendres. La même denrée présente d'ailleurs, suivant l'année et la provenance, des différences sensibles dans le taux des matières azotées ; ces différences se sont élevées à 4 °/₀ dans la féverole et à 3 °/₀ dans l'avoine, mais n'ont jamais atteint 1 °/₀ dans le maïs. Il est vrai de dire que les provenances ont été beaucoup plus variées pour les deux premières denrées que pour le maïs, et que, pour l'avoine en particulier, on a toujours constaté une richesse plus grande dans l'avoine d'Amérique que dans celles de France ou de Russie, à qualité égale.

Dans la plupart des analyses, la cellulose saccharifiable a été distinguée de la cellulose brute. La cellulose saccharifiable, comme nous le verrons, a un coefficient de digestibilité plus élevé que la cellulose brute.

On voit, en jetant un coup d'œil sur le tableau précédent, toute l'importance de la cellulose saccharifiable dans les aliments du cheval ; dans les fourrages, il y en a environ moitié autant que de cellulose brute ; dans les grains et les résidus industriels, autant et quelquefois davantage. Il semble donc intéressant de doser à part cet élément, dont nous verrons ultérieurement le degré de digestibilité.

Le glucose est en faible proportion dans toutes les denrées expérimentées ; les aliments industriels, comme la maltine, en contiennent pourtant plus que les autres. Quant au saccharose (sucre de canne), il constitue plus des 97 °/₀ du sucre brut employé ; on voit par là combien est grande la pureté de cet aliment.

L'amidon se présente en quantités beaucoup plus variables que le glucose, d'une denrée à l'autre ; le maïs et le seigle viennent au premier rang avec la pomme de terre ; la féverole et l'avoine se classent ensuite, puis les aliments industriels, dont la teneur en amidon varie beaucoup avec les traitements subis ; enfin, en dernier lieu, les fourrages.

En ce qui concerne la graisse, on n'en trouve de quantités un peu notables que dans les tourteaux et surtout dans la maltine ; on remarquera, à ce propos, la richesse relative en graisse des avoines d'Amérique (expériences du mélange de 1897), dont j'ai signalé plus haut la teneur élevée en azote.

XII. — Composition minérale des aliments du cheval

On sait de quelle importance sont, pour la nutrition des animaux, les matières minérales, notamment l'acide phosphorique et les bases (chaux, magnésie, etc.) qui forment la trame osseuse et entrent dans la constitution de tous les tissus et liquides de l'organisme. Pour compléter le tableau de la composition des denrées d'expériences, il a été fait au laboratoire de recherches de la Compagnie générale des voitures de très nombreuses analyses de cendres des aliments consommés par la cavalerie. Je me bornerai à reproduire ici, à titre d'exemple, les résultats relatifs à la ration-mélange de 1897 (voir le tableau de la page 182).

Les denrées analysées sont : l'avoine, le maïs, le seigle, la paille, les tourteaux, la maltine et les granules fabriqués par la compagnie.

Composition moyenne minérale des denrées d'expériences (1897-1898).

DENRÉES	SILICE	ACIDE phosphorique	ACIDE sulfurique	CHLORE	CHAUX	MAGNÉSIE	POTASSE	SOUDE	OXYDE DE FER	ALUMINE
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Avoine.	1,63	0,74	0,53	0,31	0,16	0,22	0,45	0,25	0,03	0,02
Maïs	0,03	0,52	0,33	0,23	0,02	0,18	0,28	0,15	0,02	0,03
Seigle	0,09	0,71	0,35	0,28	0,09	0,20	0,42	0,19	0,02	0,03
Paille	2,02	0,17	0,50	0,82	0,53	0,19	1,24	0,84	0,05	0,02
Tourteau. . . .	1,11	1,05	1,27	1,33	0,82	0,28	0,87	0,67	0,17	0,12
Maltine.	0,37	1,70	0,94	0,71	1,12	0,55	0,80	0,30	0,16	0,07
Granules	»	1,65	»	»	0,21	»	»	»	»	»

En parcourant les chiffres de ce tableau, on constate les faits suivants :

La paille, l'avoine et les tourteaux contiennent bien plus de silice que les autres aliments expérimentés, c'est-à-dire que la maltine, le seigle et surtout le maïs. Les denrées les plus riches en acide phosphorique sont les *résidus industriels :* maltine, granules et tourteaux. Parmi les grains, l'avoine et le seigle en contiennent davantage que le maïs, mais l'écart est moins grand pour la silice ; quant à la paille, elle vient au dernier rang. En désignant par 1 la quantité moyenne d'acide phosphorique des résidus industriels sur lesquels nous avons opéré, celle de l'avoine et du seigle équivaut à 1/2, celle du maïs à 1/3 et celle de la paille à 1/10.

En ce qui concerne le soufre et le chlore, les tourteaux et la maltine sont plus riches que les autres aliments. De même pour la chaux et la magnésie ; mais il est bon de noter que les teneurs en magnésie des différentes denrées, sauf la maltine, sont très voisines les unes des autres.

D'autre part, c'est la paille qui renferme le plus de potasse et de

soude, et ce sont les aliments industriels qui ont la plus forte teneur en fer et en alumine.

On peut résumer ainsi ces divers résultats :

1° Les résidus d'industrie employés aux expériences sont plus minéralisés, d'une façon générale, que la paille et les grains, surtout sous le rapport de l'acide phosphorique, de la chaux, de la magnésie et de l'oxyde de fer.

2° La paille renferme surtout de la silice et des bases alcalines.

3° Parmi les grains utilisés, l'avoine est plus riche que le seigle, surtout en silice et en chaux, et celui-ci plus que le maïs ; mais les différences de teneurs sont moindres pour l'acide phosphorique et la magnésie que pour les autres éléments.

La composition minérale des denrées de quelques-unes de nos rations expérimentales n'a été déterminée que dans le but d'établir le degré d'utilisation des principes minéraux ingérés par le cheval dans les diverses situations de repos, marche ou travail. Aussi avons-nous, outre les aliments, analysé encore la boisson, les fèces et les urines de nos trois chevaux d'expériences, pour dresser ensuite le bilan journalier de chaque principe minéral.

Ce travail délicat, poursuivi pendant plusieurs mois, ne nous a donné des résultats bien nets qu'en ce qui concerne l'acide phosphorique ; les moyennes de ces résultats sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Statique journalière de l'acide phosphorique

PÉRIODES	ENTRÉE	SORTIE	BALANCE
Mélanges 1897 :	grammes	grammes	grammes
Repos	32,898	32,025	+0,873
Marche	28,037	25,707	+2,330
Travail.	45,489	39,981	+5,508
Moyennes . . .	35,478	32,571	+2,907
Sucre et maïs :			
Marche.	25,918	23,885	+2,033
Travail modéré	25,137	31,133	—5,596
Travail intense	34,666	30,494	+4,172
Moyennes . . .	28,574	28,504	+0,070

La différence entre les entrées et les sorties correspond aux quantités d'acide phosphorique retenues dans le corps de l'animal ou perdues par lui dans les vingt-quatre heures.

Il est bon de noter que l'acide phosphorique, représenté ici comme sorti, comprend à la fois celui des fèces et celui des urines, qu'on n'a pas distingués dans le tableau pour éviter des complications. C'est par les fèces que se fait la majeure partie de l'élimination de l'acide phosphorique (22 à 34 grammes par jour) ; mais l'élimination de ce corps par l'urine n'est cependant pas négligeable, car on peut l'évaluer à environ 3 grammes par jour. On voit sur le tableau que, sauf dans un cas (travail modéré avec régime sucre et maïs), l'entrée a été, en général, supérieure à la sortie et qu'il y a eu en moyenne :

Avec la ration de la compagnie, un gain journalier de 3 grammes d'acide phosphorique ;

Avec la ration sucre et maïs, un équilibre journalier d'acide phosphorique.

Il est vrai que cette dernière ration ne comprenait en moyenne que 28 grammes par jour d'acide phosphorique, tandis que l'autre en contenait plus de 35 grammes.

Il semble résulter de ces essais que 25 grammes d'acide phosphorique ingérés par jour ont été suffisants pour des chevaux de 400 à 450 kilogr. n'effectuant d'autre travail mécanique que le transport de leur propre poids sur une longueur de 20 kilomètres (marche), mais que cette quantité s'est montrée insuffisante dès qu'on leur a demandé un travail supplémentaire, si modéré qu'il fût. Avec 35 grammes d'acide phosphorique dans leur ration, ils en ont fixé davantage, tout en effectuant un travail double du précédent, et, avec 45 grammes (mélange, période de travail), la fixation a été encore supérieure, bien que la quantité de travail produit ait été deux fois et demie celle de la période dite *de travail modéré* avec l'alimentation sucre-maïs.

Nous n'avons pas pu établir jusqu'ici, par nos expériences, de relation (au moins chez l'animal adulte en bon état) entre les variations des poids vifs et la fixation d'acide phosphorique.

XIII. — Composition des rations moyennes

(*Rations d'entretien — Rations de marche — Rations de travail*)

Les deux points dont la connaissance est indispensable pour établir les quantités journalières de principes nutritifs ingérées dans les expériences d'alimentation sont :

1° La composition chimique des aliments composant les rations ;

2° Le poids des aliments consommés chaque jour.

J'ai exposé précédemment le premier point (voir le tableau de la page 181) ; il me reste à faire connaître le second.

Le tableau ci-contre indique les poids d'aliments consommés, en moyenne, par cheval et par jour dans chaque expérience, au repos, à la marche et au travail. Les douze aliments sont ceux dont nous avons donné la composition chimique (p. 181). L'examen du tableau montre combien, d'un régime à l'autre, ont varié le nombre, la nature et le poids des aliments. Les rations ont comporté tantôt un seul aliment (avoine ou foin), tantôt deux (grain ou résidu industriel, avec paille), tantôt davantage (trois, quatre et même six dans les mélanges de 1881 et 1897) ; les aliments qui les constituaient ont été parfois très riches en matières azotées (féverole, tourteau, granules, maltine) et parfois très pauvres en ces substances (pommes de terre, sucre et foin, sucre et maïs). De toutes ces différences est résultée une très grande variation dans le poids consommé de chaque aliment ; aussi n'est-il pas étonnant que, dans les rations de repos, l'avoine consommée par jour ait varié de 900 grammes à plus de 5 kilogr. ; le maïs, de $1^{kg},400$ à $4^{kg},500$; la féverole, de 400 grammes à 4 kilogr. ; la paille, de 500 grammes à 4 kilogr. ; le foin, de 1 à 8 kilogr. ; les aliments industriels, de 200 grammes à 4 kilogr. ; et le sucre, de 600 grammes à $2^{kg},400$ dans les rations moyennes.

Quant au poids total de la ration, il atteint son minimum avec le régime à l'avoine seule (moins de 4 kilogr.) ; c'est là, d'ailleurs, une quantité absolument insuffisante, mais il nous a été impossible d'en faire consommer davantage aux chevaux en expérience. Avec

Composition moyenne des rations consommées par cheval et par jour.

EXPÉRIENCES	ÉLÉMENTS des rations	RATIONS de repos	de marche	de travail	Moyennes
		kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Mélange 1881	Avoine	1,912	2,164	2,952	2,400
	Maïs	1,411	1,600	2,180	1,775
	Féverole	0,408	0,464	0,632	0,510
	Tourteau	0,280	0,316	0,432	0,350
	Foin	1,014	1,148	1,568	1,275
	Paille	0,548	0,620	0,848	0,690
	Total	5,573	6,312	8,612	7,000
Foin	Foin	8,000	9,400	14,250	10,490
Avoine seule	Avoine	3,971	3,338	4,310	3,875
Avoine et paille	Avoine	5,331	5,500	6,600	5,845
	Paille	2,267	2,500	2,492	2,390
	Total	7,598	8,000	9,092	8,235
Maïs et paille d'avoine	Maïs	4,513	5,542	5,443	4,980
	Paille d'avoine	2,562	2,638	2,563	2,590
	Total	7,105	8,080	8,006	7,570
Maïs et paille de blé	Maïs	4,481	4,725	5,029	4,747
	Paille de blé	2,403	2,419	2,443	2,347
	Total	6,884	7,144	7,272	7,094
Féverole	Féverole	4,052	5,000	7,059	5,212
	Paille	3,885	3,972	3,214	3,676
	Total	7,937	8,972	10,273	8,888
Tourteau	Tourteau	4,000	5,000	6,564	5,192
	Paille	3,995	4,481	3,812	4,011
	Total	7,995	9,481	10,376	9,203
Pomme de terre et paille	Pomme de terre	4,150	5,032	5,637	4,870
	Paille	1,801	2,062	1,877	1,884
	Total	5,951	7,094	7,514	6,754

EXPÉRIENCES	ÉLÉMENTS des rations	RATIONS de repos	de marche	de travail	Moyennes
		kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Pomme de terre, grains et paille	Pomme de terre	2,000	»	3,056	2,528
	Maïs	1,500	»	2,292	1,896
	Féverole	0,500	»	0,764	0,632
	Paille	2,193	»	1,951	2,072
	Total	6,193	»	8,063	7,128
Maltine	Maltine	1,259	1,592	1,964	1,545
	Maïs	4,104	4,541	4,679	4,470
	Paille	2,190	2,339	2,244	2,240
	Total	7,553	8,472	8,887	8,155
Granules cuits	Granules	»	»	4,000	4,000
	Paille	»	»	4,000	4,000
	Total	»	»	8,000	8,000
Mélange 1897	Avoine	0,900	1,210	1,693	1.278
	Maïs	2,217	2,100	2,940	2,476
	Seigle	0,234	0,190	0,257	0,234
	Maltine	0,209	0,200	0,262	0,228
	Tourteau	0,447	0,440	0,614	0,511
	Paille	1,460	1,360	1,904	1,613
	Total	5,467	5,500	7,670	6,340
Sucre et foin	Sucre	»	»	0,600	0,600
	Foin	»	»	10,267	10,267
	Total	»	»	10,867	10,867
Sucre et granules	Sucre	»	»	2,200	2,200
	Granules	»	»	1,500	1,500
	Maïs	»	»	2,000	2,000
	Paille	»	»	2,500	2,500
	Total	»	»	8,200	8,200
Sucre et maïs	Sucre	»	2,400	2,375	2,381
	Maïs	»	2,800	3,600	3,400
	Paille	»	2,500	2,500	2,500
	Total	»	7,700	8,475	8,281

le foin et le sucre, nous trouvons, au contraire, une ration de poids maximum ($10^{kg},867$), et si nous considérons l'ensemble des expériences, en mettant de côté les cas exceptionnels, nous voyons que le poids moyen d'une *ration de repos,* composée de grains, de fourrages et d'aliments industriels, a été d'environ 6 kilogr. par jour. C'est, du reste, à ce résultat qu'aboutissent les essais de 1881 et 1897 sur les mélanges utilisés par la Compagnie générale des voitures, puisque, dans les deux cas, la ration de repos, reconnue d'ailleurs suffisante, comme nous le verrons plus loin, a été voisine de $5^{kg},500$ par jour. On remarquera, cependant, que les deux rations dont il s'agit étaient composées différemment : celle de 1897, renfermant moins d'avoine, pas de féverole ni de foin, mais plus de maïs, de paille et de tourteau, ainsi que du seigle et de la maltine. C'est même la grande différence existant entre les éléments de ces rations qui nous a conduits à les étudier comparativement. Nous verrons plus loin comment se sont comportés les chevaux soumis à des régimes aussi variés.

Les rations de travail et même celles de transport s'étant montrées un peu faibles, comme nous le constaterons plus loin, il convient de ne pas considérer comme définitifs les résultats moyens ainsi obtenus, mais de les regarder plutôt comme de simples points de départ d'expériences nouvelles.

Les essais du laboratoire, exécutés de 1880 à 1882, m'avaient conduit à fixer, entre le poids des rations de repos, de transport et de travail, les relations suivantes : 1 étant le poids de la ration de repos, les poids respectifs des deux autres étaient 1,1 et 1,5 dans les conditions où les essais avaient eu lieu. Il semble résulter de l'ensemble des expériences effectuées depuis cette époque que ces rapports doivent être considérés comme des minima. Il faut se souvenir d'ailleurs que ces résultats s'appliquent à des chevaux de 400 à 450 kilogr., transportant journellement leur propre poids sur une longueur de 20 kilomètres (marche) ou produisant chaque jour 500 000 à 600 000 kilogrammètres de travail extérieur mesurable (travail).

Nous reviendrons à cette importante question des relations de la ration avec le travail des animaux.

XIV. — Coefficients de digestibilité des principes nutritifs

(*Substance sèche, matière azotée, graisse, glucose, amidon, celluloses*)

Jusqu'ici nous avons examiné les résultats de nos études concernant :

1° La composition chimique des fourrages d'expérience ;

2° La consommation journalière des mêmes fourrages.

Nous avons ainsi établi, pour chaque régime étudié, les *quantités journellement ingérées* des différents principes nutritifs. Pour connaître les quantités de principes nutritifs réellement utilisées par l'animal, il faut déterminer les *quantités non digérées* de ces mêmes principes. Elles se déduisent de la composition chimique et du poids des fèces rendues. Par différence avec les quantités ingérées, on connaît les *quantités digérées* de chaque élément nutritif, quantités qui, rapportées à 100 parties en poids d'élément ingéré, représentent ce qu'on nomme les *coefficients de digestibilité* de chacun des éléments de la ration.

Le tableau ci-contre indique les coefficients moyens de digestibilité trouvés pour les principes nutritifs les plus importants au cours de seize expériences différentes. Ces coefficients moyens ont été établis, dans chaque essai, à l'aide des coefficients obtenus pour un même principe nutritif sur les différents chevaux observés au repos, à la marche et au travail à différentes allures ; en procédant ainsi, on atténue l'influence de l'individualité et celle de la situation de l'animal en expérience, et l'on obtient des résultats pouvant être généralisés avec une plus grande certitude. Comme il est toujours facile de se reporter aux mémoires originaux (V. ces *Annales*), si l'on désire connaître le détail des coefficients de chaque expérience, nous nous bornerons ici à donner le résumé des résultats obtenus.

On remarquera que la digestibilité de la *substance organique* est toujours supérieure à celle de la substance sèche, d'environ 1,50 à 2,50 %. Les coefficients de digestibilité des *cendres* ont été omis pour insuffisance de précision, par suite de la difficulté de récolter les fèces sans entraînement de matières minérales étrangères. Quant

Coefficients moyens de digestibilité

EXPÉRIENCES	SUBSTANCES sèche	SUBSTANCES organique	CENDRES	MATIÈRES azotées	GRAISSE	GLUCOSE	AMIDON	CELLULOSE brute	CELLULOSE saccharifiable	INDÉTERMINÉS
Mélange 1881	67,58	70,30	12,44	71,47	57,55	100,0	85,53 (1)	41,23	»	41,75
Foin	41,72	42,66	35,33	42,77	9,36	100,0	83,54	36,14	41,71	35,29
Avoine seule	71,74	73,82	» (4)	78,61	75,26	100,0	98,35	49,42	»	(2) 21,71
Avoine et paille d'avoine	58,46	60,10	» (4)	65,90	67,19	100,0	95,18	31,67	»	(3) 26,89
Maïs et paille d'avoine	70,57	71,95	» (4)	61,14	57,83	100,0	97,74	47,06	44,95	16.61
Maïs et paille de blé	69,26	71,70	» (4)	70,17	66,32	100,0	98,15	34,39	39,51	28,06
Féverole et paille d'avoine	62,93	65,02	» (4)	75,48	» (5)	100,0	94,34	37,13	49,41	32,96
Tourteau et paille d'avoine	52,24	54,63	» (4)	67,41	39,15	100,0	90,53	34,87	39,30	36,14
Pomme de terre, paille d'avoine	74,34	75,77	47,68	47,35	» (5)	100,0	99,18	41,35	50,05	38,10
Pomme de terre, maïs, féverole et paille d'avoine	75,73	77,12	45,23	55,43	33,21	100,0	98,10	57,76	54,16	30,90
Maltine, maïs et paille d'avoine	71,87	73,83	» (4)	61,12	59,65	100,0	98,79	43,80	58,09	41,98
Granules cuits et paille d'avoine	55,43	57,20	» (4)	60,22	44,23	100,0	100,0	47,00	55,79	7,39
Mélange 1897	72,31	74,27	22,78	73,81	59,54	100,0	99,36	48,70	64,90	38,46
Sucre et foin	50,76	52,01	36,12	46,73	» (5)	100,0	76,32	38,95	49,79	52,45
Sucre et granules	74,08	76,87	» (5)	67,66	54,70	100,0	99,87	42,31	35,40	56,44
Sucre et maïs	78,40	79,93	25,48	64,63	57,64	100,0	99,71	44,99	43,24	44,42

1. Amidon et cellulose saccharifiable.
2 et 3. Indéterminés et cellulose saccharifiable par différence.
4. Coefficients non calculés.
5. Coefficients négatifs.

aux *indéterminés*, ces substances étant dosées par différence et supportant toutes les erreurs d'analyse, leurs coefficients de digestibilité nous ont paru présenter un intérêt secondaire.

Les résultats que ce tableau contient permettent de se faire une idée d'autant plus exacte de la valeur comparative des seize rations étudiées, que chaque expérience a duré, en général, de six mois à un an. Ces résultats, qui sont enregistrés, comme précédemment, par ordre chronologique, donnent lieu à un certain nombre de remarques :

La digestibilité de la *matière sèche* d'une ration peut être regardée comme résumant à elle seule la digestibilité de cette ration tout entière ; la variation du coefficient de digestibilité de la matière sèche indique alors, d'un régime à l'autre, la différence de digestibilité de ces régimes. Nous constatons ainsi que la matière sèche est digérée au maximum avec le *sucre et le maïs* (78,40 °/₀), et au minimum avec le *foin* donné seul (41,72 °/₀), et qu'en moyenne le cheval digère 65 à 70 °/₀ d'une ration normale. Les rations les mieux digérées sont celles qui contiennent surtout des aliments *hydrocarbonés :* sucre, pommes de terre, graines de céréales, ou encore les rations mixtes contenant à la fois des grains, des résidus industriels et une faible proportion de fourrages bruts (mélanges de 1881 et de 1897).

Les *fourrages bruts,* comme le foin et la paille, sont mal digérés par le cheval et *dépriment* la digestibilité des aliments auxquels on les associe ; ce fait ressort très nettement des essais à l'avoine seule et à l'avoine additionnée de paille : l'addition de paille à une ration d'avoine a abaissé la digestibilité de cette dernière de 71 à 58 °/₀. Les résultats trouvés avec les rations dites *mélanges* en sont encore une nouvelle preuve ; le mélange de 1897, dans lequel il n'y avait pas de foin, et où la proportion de fourrage brut était un peu moindre que dans le mélange de 1881, a été plus complètement digéré que ce dernier. Dans le même ordre d'idées, on remarquera que si les rations de féverole, de tourteau et de granules ont été médiocrement digérées dans leur ensemble, peut-être doit-on l'attribuer à la forte proportion de paille ajoutée à ces divers aliments. Au contraire, l'*introduction du sucre* dans une ration en *augmente* la digestibilité : le maïs avec paille d'avoine a pour coefficient de digestibilité

70 °/₀, tandis que ce coefficient dépasse 78 °/₀ avec le maïs et la paille d'avoine additionnés de sucre.

En ce qui concerne les *matières azotées,* nous remarquerons qu'il s'agit ici des *matières azotées totales,* calculées d'après l'azote total à l'aide du coefficient 6,25. Les matières azotées les mieux digérées sont celles des rations suivantes : avoine seule, féverole et paille, mélanges de 1897 et 1881, maïs et paille de blé : dans ces différents cas, la digestibilité de l'azote a dépassé 70 °/₀. Entre 70 et 60 °/₀ de digestibilité, viennent se ranger les rations de tourteau, de sucre, (sauf avec foin), d'avoine et paille, de maïs et paille d'avoine, de maltine et de granules. Enfin, les pommes de terre et le foin viennent en dernier lieu avec 43 à 55 °/₀ seulement de leur azote digérés. Dernière remarque : la fermentation ne paraît pas modifier la digestibilité de la matière azotée du maïs ; la maltine, donnée avec maïs et paille d'avoine, a exactement le même coefficient de digestibilité que le maïs et la paille d'avoine donnés seuls (61 °/₀).

Quant à la *graisse,* nous rappellerons qu'on désigne ainsi l'ensemble des substances extraites des aliments et des fèces par des dissolvants comme le sulfure de carbone et l'éther ; cette dénomination englobe donc des corps de nature très différente (graisse, chlorophylle, résines, cire, produits biliaires et produits de sécrétion intestinale). Il en résulte que, pour la graisse, on ne peut réellement compter sur des coefficients comparables que s'il s'agit d'alimentations très voisines. Cette réserve se justifie quand on constate que, pour trois de nos rations : pommes de terre, féverole, foin et sucre, on n'a pas pu établir les coefficients de digestibilité de la graisse, la sortie de cette matière par les fèces ayant été supérieure à l'entrée par la ration ; ce fait est dû à ce que, dans les fèces, on dose parfois comme graisse des corps tout différents de ceux qu'on dose dans les aliments (produits de la bile, etc.), et que, dans certains cas, la ration contenant très peu de graisse, les fèces renferment pourtant une quantité notable de principes d'origines biliaire ou intestinale.

Ces anomalies mises à part, on voit sur le tableau que la digestibilité de la graisse, minima avec le foin seul (9 °/₀), est maxima avec l'avoine seule (75 °/₀), qu'elle subit une dépression de 75 à 67 °/₀ quand on ajoute de la paille à la ration d'avoine, qu'elle se maintient

entre 66 et 60 °/₀ avec le maïs, fermenté ou non, qu'elle est de 60 °/₀ dans nos mélanges, qu'elle n'est pas influencée par l'introduction du sucre, mais qu'elle tombe à 44 °/₀ puis à 39 °/₀ avec les granules et les tourteaux, quand ces fourrages sont associés à une forte proportion de paille.

Les détails qui précèdent nous permettent d'être très bref en ce qui concerne les principes hydrocarbonés. Le tableau (p. 193) ne renferme que les coefficients moyens de digestibilité des principes hydrocarbonés les plus importants, coefficients obtenus comme nous l'avons indiqué plus haut. Ces principes ont été rapportés à quatre groupes : *glucose, amidon*, *cellulose brute* et *cellulose saccharifiable*, pour chacun desquels nous allons examiner les résultats de nos expériences.

Remarquons d'abord que le terme *glucose* désigne ici l'ensemble des matières sucrées de nos fourrages ; il faut donc lui donner le sens général de *sucres*. On constate à première vue que les sucres ont été intégralement digérés, avec les alimentations les plus diverses et quelle que soit leur proportion dans la ration. Que la ration journalière en contienne 60 grammes, comme dans l'essai à l'avoine, ou 2 400 grammes comme avec le sucre et le maïs, il est impossible d'en retrouver la moindre trace, pas plus dans les fèces que dans les urines : *les sucres sont donc totalement digérés et utilisés*.

La digestibilité de l'*amidon* s'est montrée en général très élevée, mais plus variable toutefois que celle du glucose ; les limites extrêmes ont été de 76°/₀, au minimum, avec le *foin et le sucre*, et de 100 °/₀ avec les granules cuits. L'amidon du foin ayant un coefficient de digestibilité de 83 °/₀, c'est donc avec les rations de foin que l'amidon est le moins bien digéré, et, dans ce cas, la présence du sucre ne modifie pas la digestibilité de l'amidon. Le maximum trouvé pour les granules indique que la cuisson exerce une influence favorable et, d'autre part, la comparaison entre l'avoine seule et l'avoine avec paille montre que la dépression constatée pour la matière sèche totale ne porte pas sur l'amidon. Les aliments amylacés (avoine, maïs, pommes de terre) présentent des coefficients identiques (98 à 99 °/₀), tandis que la féverole (comme d'ailleurs le tourteau) a donné des résultats un peu faibles, la méthode d'analyse employée ayant fait compter comme amidon une partie de la cellulose des fèces. Enfin, dans le mélange

de 1881, l'amidon accuse une digestibilité bien inférieure à celle du mélange de 1897 ; nous devons observer que ces deux cas ne sont pas comparables, l'amidon et la cellulose saccharifiable n'ayant pas été séparés l'un de l'autre dans les analyses de 1881.

En ce qui concerne les *celluloses*, le tableau montre qu'elles sont beaucoup moins bien digérées que les autres principes hydrocarbonés et que la cellulose saccharifiable est généralement mieux assimilée que la cellulose brute. Avec la ration de *pommes de terre et grains*, on constate un maximum de plus de 57 °/₀ de cellulose brute digérée ; mais, par contre, on trouve un minimum de 31 °/₀ avec l'*avoine et la paille*. On peut également noter la faible digestibilité de la cellulose brute dans les deux essais au *foin* et dans ceux où la ration contenait beaucoup de paille (féverole, tourteau) ; seuls, les granules semblent faire exception à ce fait, mais alors on peut se demander s'il ne faut pas y voir l'influence de la cuisson. La comparaison des expériences à l'avoine et au maïs montre encore que la cellulose brute, moins digestible dans l'avoine que dans le maïs, l'est davantage dans la paille d'avoine que dans la paille de blé. Quant au sucre, son influence paraît nulle ou peu sensible sur l'assimilation de la cellulose brute.

Ce sont les rations sucrées (granules et sucre, maïs et sucre) qui ont donné les coefficients les plus faibles pour la *cellulose saccharifiable ;* ces deux cas mis à part, ce dernier élément accuse presque toujours une digestibilité meilleure et variant dans le même sens que celle de la cellulose brute.

XV. — Principes nutritifs ingérés par jour

Nous avons indiqué précédemment[1] comment, à l'aide des coefficients de digestibilité de chacun des principes nutritifs constituant les éléments des rations alimentaires, on arrive à évaluer les quantités de chacun de ces principes qui ont été digérées, chaque jour, par les chevaux dans les diverses séries d'expériences exécutées de 1881 à 1900 au laboratoire de recherches de la Compagnie générale des voi-

1. Voir pages 192 et 203.

I. — Principes nutritifs journellement ingérés

EXPÉRIENCES	SITUATIONS	MATIÈRE sèche totale	MATIÈRES azotées	GRAISSE	SUCRE	AMIDON	CELLULOSE saccharifiable	CELLULOSE brute
		Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes
Mélange 1881	Repos	4 807,4	580,3	170,5	59,2	2 4	0,6	564,5
	Marche	5 424,2	652,3	187,7	68.8	2 796,4		633,6
	Travail	7 795,9	949,1	287,4	91,1	4 049,1		896,4
Moyenne		6 121,7	741,7	220,7	73,8	3 173,1		710,5
Foin	Repos	6 966,3	550,7	164,1	243,6	396,1	1 279,2	1 511,9
	Marche	8 038,9	651,1	188,5	306,4	535,6	1 346,7	1 753,2
	Travail	12 367,3	983,5	201,0	441,5	735,5	2 239,7	2 693,6
Moyenne		9 124,2	728,4	214,5	330,8	555,8	1 618,5	1 986,2
Avoine seule	Repos	3 403,7	448,3	144,5	56,3	1 602,2	641,1 (1)	382,4
	Marche	3 575,0	460,7	157,3	62,0	1 669,6	684,9	408,6
	Travail	3 693,2	474,7	158,7	62,8	1 700,3	711,8	436,8
Moyenne		3 581,5	463,4	154,6	60,9	1 665,5	685,1	413,4
Avoine et paille	Repos	6 669,6	653,4	249,8	78,3	2 336,0	2 089,1 (1)	936,7
	Marche	6 815,2	626,6	230,7	61,7	2 395,9	2 136,3	1 055,4
	Travail	7 630,5	740,0	278,9	62,0	3 000,2	2 219,9	1 190,1
Moyenne		7 061,6	680,0	257,1	69,7	2 590,7	2 138,5	1 048,4
Maïs et paille d'avoine	Repos	6 139,9	512,7	231,3	129,8	2 907,2	556,4	955,1
	Marche	6 796,1	615,6	270,2	137,8	3 380,4	616,7	947,2
	Travail	6 540,2	567,0	255,0	137,4	3 219,5	659,4	943,0
Moyenne		6 382,7	548,0	245,8	133,7	3 090,2	567,6	949,7
Maïs et paille de blé	Repos	5 818,0	491,1	185,3	185,4	2 691,8	443,9	716,0
	Marche	6 013,0	511,7	197,1	193,7	2 850,9	442,1	732,8

	Travail	8 914,2	1 813,7	152,3	352,5	3 010,0	806,4	1 265,3
Moyenne		7 696,6	1 389,9	137,8	288,5	2 292,6	777,6	1 284,5
Tourteau	Repos	6 939,6	871,2	244,5	147,4	1 335,5	759,5	1 416,3
	Marche	8 357,4	1 048,5	360,9	186,6	1 723,5	892,4	1 613,2
	Travail	9 132,8	1 365,1	377,7	217,8	2 056,1	917,8	1 661,7
Moyenne		8 061,4	1 067,7	318,1	182,3	1 689,9	846,0	1 509,4
Pommes de terre et paille	Repos	5 181,0	392,4	47,8	92,7	2 670,8	415,6	689,2
	Marche	6 124,2	503,4	57,3	106,7	3 321,8	516,9	695,3
	Travail	6 618,8	526,0	55,3	123,8	3 675,4	469,0	746,9
Moyenne		5 896,6	463,9	52,5	106,8	3 169,0	456,4	711,1
Pommes de terre, grains et paille	Repos	5 286,5	485,9	112,8	69,9	2 610,6	523,8	712,4
	Travail	6 914,1	681,5	143,1	100,8	3 818,4	498,6	817,6
Moyenne		6 100,3	583,6	127,9	85,4	3 214,5	511,2	765,0
Maltine	Repos	6 641,8	771,7	298,6	185,2	2 784,2	654,0	763,0
	Marche	7 457,9	892,8	343,4	241,3	3 052,5	832,8	851,4
	Travail	7 927,3	736,1	382,9	249,2	3 282,6	786,7	838,1
Moyenne		7 233,5	784,0	335,7	217,1	3 004,0	734,0	805,7
Granules cuits	Repos	7 286,0	1 031,9	307,5	163,9	1 368,6	1 353,7	1 860,4
Mélange 1897	Repos	4 796,7	540,8	223,3	114,0	1 833,2	623,9	719,2
	Marche	4 797,4	575,4	232,6	114,9	1 717,1	636,4	711,2
	Travail	6 658,6	789,3	324,6	122,0	2 526,6	774,6	1 018,7
Moyenne		5 228,3	635,2	260,2	117,0	2 025,6	678,3	816,4
Sucre et foin	Travail	9 556,8	672,1	146,1	812,9	449,9	1 425,8	2 615,0
Sucre et granules	Travail	7 423,2	584,9	215,4	2 239,6	1 543,6	448,2	1 057,2
Sucre et maïs	Marche	6 914,7	316,6	129,1	2 435,1	1 650,4	444,8	973,4
	Travail	7 539,0	400,6	161,9	2 403,2	2 119,9	426,7	967,2
Moyenne		7 382,9	379,6	153,7	2 411,2	2 002,5	431,3	968,7

1. Les indéterminés sont réunis à la cellulose saccharifiable.

II. — Principes nutritifs journellement digérés.

EXPÉRIENCES	SITUATIONS	MATIÈRE sèche totale	MATIÈRES azotées	GRAISSE	SUCRE	AMIDON	CELLULOSE saccharifiable	CELLULOSE brute	INDÉTERMINÉS
		Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes
Mélange 1881	Repos	3 318,1	427,9	97,8	59,2	2 170,1		257,8	292,7
	Marche	3 656,6	456,0	93,1	68,8	2 341,3		269,3	400,4
	Travail	4 738,2	592,6	130,3	91,1	3 148,7		307,1	438,5
Moyenne		3 985,6	499,2	110,1	73,8	2 595,0		279,7	370,4
Foin	Repos	2 945,6	229,2	12,2	243,6	346,0	528,6	599,1	804,9
	Marche	3 375,0	282,2	8,0	306,4	437,1	579,9	620,6	902,7
	Travail	5 105,0	412,3	20,9	442,5	623,6	871,7	972,3	1 394,3
Moyenne		3 808,5	307,9	13,7	330,8	468,9	660,1	730,7	1 034,0
Avoine seule	Repos	2 457,3	353,3	107,7	56,3	1 574,9	148,0	190,1	Compris avec la cellulose saccharifiable
	Marche	2 610,5	374,5	125,9	62,0	1 648,7	166,4	201,4	
	Travail	2 649,7	361,4	122,0	60,9	1 674,2	136,6	211,7	
Moyenne		2 588,8	363,7	119,7	78,3	1 640,9	149,4	202,8	
Avoine et paille	Repos	3 966,1	442,0	163,3	61,7	2 188,4	436,6	354,6	Id.
	Marche	4 019,6	414,5	154,8	62,0	2 279,0	755,1	314,1	
	Travail	4 436,9	472,5	194,6	62,8	2 918,6	433,1	335,6	
Moyenne		4 155,4	447,8	173,4	69,7	2 473,7	574,3	339,8	
Maïs et paille d'avoine	Repos	4 319,0	311,5	136,5	129,8	2 845,2	237,5	446,8	141,7
	Marche	4 832,6	378,7	161,7	137,8	3 306,2	298,6	456,8	99,3
	Travail	4 599,5	357,1	160,6	137,4	3 150,1	254,5	437,8	151,4
Moyenne		4 498,1	337,9	148,7	133,7	3 023,7	253,7	445,5	139,3
Maïs et paille de blé	Repos	3 932,2	336,4	122,8	185,4	2 640,3	153,7	213,4	252,2
	Marche	4 138,4	362,0	133,1	193,7	2 792,6	182,6	260,2	214,0
	Travail	4 278,3	375,5	131,3	190,0	2 890,6	176,2	221,5	278,3

[illegible]	Marche	[illegible]	[illegible]	»	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	Travail	5 996,8	1 397,2	»	352,5	2 880,8	412,1	460,1	365,0
Moyenne		4 480,1	1 026,1	»	288,6	2 122,5	377,4	455,4	383,0
Tourteau	Repos	3 590,8	577,0	81,0	147,5	1 212,6	314,9	526,7	646,1
	Marche	4 373,2	710,1	158,1	181,6	1 536,9	377,2	600,8	716,8
	Travail	4 854,4	943,8	140,3	217,8	1 904,1	331,1	487,4	712,8
Moyenne		4 424,7	745,7	118,4	182,6	1 541,0	332,6	524,7	685,2
Pommes de terre et paille	Repos	3 908,5	197,1	»	92,7	2 649,0	229,3	332,4	278,3
	Marche	4 562,5	257,9	»	106,7	3 302,2	279,9	272,8	267,0
	Travail	4 918,6	211,9	»	123,8	3 635,0	207,3	274,1	230,1
Moyenne		4 387,1	215,4	»	106,8	3 141,2	232,3	298,8	258,6
Pommes de terre, grains et paille	Repos	3 816,9	238,0	26,4	69,9	2 577,6	272,5	378,5	142,8
	Travail	5 509,2	424,8	61,0	100,8	3 785,0	288,1	509,1	204,8
Moyenne		4 632,6	331,4	68,6	85,4	3 181,3	280,3	443,8	173,7
Maltine	Repos	4 791,5	474,0	177,8	185,2	2 759,1	377,0	351,4	401,0
	Marche	5 268,6	533,2	198,1	241,3	2 998,4	506,1	358,1	394,6
	Travail	5 667,9	613,0	235,4	249,2	3 241,0	447,4	333,2	502,6
Moyenne		5 179,1	532,2	201,1	217,7	2 967,6	426,3	346,7	433,6
Granules cuits	Repos	4 038,6	621,4	136,0	163,9	1 368,6	755,3	854,4	62,2
Mélange 1897	Repos	3 492,1	402,8	129,7	114,0	1 825,8	422,2	358,9	198,2
	Marche	3 470,5	434,5	140,9	114,9	1 705,1	438,8	349,8	248,1
	Travail	4 752,4	566,6	193,7	122,0	2 507,1	477,4	470,9	368,4
Moyenne		3 905,0	468,0	154,8	117,0	2 012,8	446,1	393,2	271,6
Sucre et foin	Travail	4 856,1	314,8	27,1	812,9	343,6	709,9	1 019,9	1 411,8
Sucre et granules	Travail	5 499,2	395,7	117,8	2 239,8	1 541,7	158,7	447,4	609,6
Sucre et maïs	Marche	5 345,3	182,5	74,5	2 435,1	1 640,4	190,6	326,5	326,5
	Travail	5 904,9	262,0	92,1	2 403,2	2 115,1	179,2	380,1	380,1
Moyenne		5 765,0	242,2	87,8	2 411,2	1 996,4	182,0	366,7	366,7

tures. Le lecteur se rappelle que, dans l'expérimentation des seize rations différentes consommées par nos chevaux, ces derniers ont été parallèlement placés dans les trois situations suivantes : repos ; marche sans travail de traction ; marche avec travail exécuté tantôt au manège dynamométrique, tantôt à la voiture. Chacun des chevaux passant successivement par ces trois situations pendant le temps consacré à l'étude de chaque ration, — trois mois au minimum, — on voit quelle quantité considérable de données numériques nous avons été à même de réunir sur les rations de repos, de marche et de travail du cheval de service. Nous avons pu dresser, en quelque sorte, le bilan de la digestion chez le cheval.

Afin de permettre aux personnes qu'intéresse particulièrement la question du régime alimentaire du cheval de trait d'embrasser d'un coup d'œil les résultats consignés dans nos registres d'expériences, nous avons, M. Alekan et moi, réuni dans deux tableaux les quantités de principes nutritifs *ingérés* (tableau I) et celles des mêmes principes *digérés* par nos chevaux (tableau II) qu'on trouve aux pages 198 et 200.

La reproduction intégrale de ces deux tableaux, empruntés à notre publication *Vingt années d'expériences sur l'alimentation du cheval,* nous a semblé indispensable à l'intelligence de la discussion à laquelle nous nous livrerons plus tard sur l'utilisation des rations, tant au point de vue de l'entretien physiologique du cheval qu'à celui de la production du travail qu'on lui demande.

La comparaison des chiffres de ces deux tableaux, qui peut guider très utilement les cultivateurs dans la détermination des rations de leur cavalerie, nous permettra, comme on le verra, de fixer les idées sur les rapports que doivent présenter les rations, soit qu'il s'agisse seulement de subvenir aux besoins de l'animal pour maintenir son poids vif à peu près invariable dans les périodes de repos (ration d'entretien), soit qu'on ait en vue d'obtenir de lui un travail déterminé.

Nous indiquerons ultérieurement les quantités de travail fournies par nos chevaux, la valeur calorifique des rations consommées et la relation nutritive de chacune d'elles. Le lecteur aura ainsi sous les yeux un ensemble de documents dont la pratique peut, croyons-nous, tirer des enseignements précieux. Nos tableaux I et II appellent un

commentaire et un certain nombre de remarques. Les chiffres qu'ils résument nous permettront de passer successivement en revue les conditions si différentes d'alimentation du cheval, suivant les situations qu'il occupe, conditions dont on néglige beaucoup trop généralement de tenir compte dans l'exploitation de ce précieux auxiliaire.

XVI. — Principes nutritifs digérés par jour

Le tableau I indique pour chacune de nos seize séries d'expériences les quantités de chacun des principes des aliments ingérés par nos chevaux dans les trois situations qu'ils ont successivement occupées : repos, marche sans travail, marche au travail. Le tableau II contient, pour chacune de ces séries, les indications correspondantes sur les quantités des mêmes principes *digérés*.

Il n'est peut-être pas inutile de rappeler à ce sujet, bien que nous l'ayons indiqué antérieurement, comment les nombres inscrits sur ce tableau ont été déterminés, et l'importance qu'ils ont pour l'appréciation de la valeur alimentaire de chacune des rations expérimentées.

Dans la pratique ordinaire, on se borne à noter, le plus souvent approximativement, le poids des aliments donnés aux animaux. Or, on sait que la valeur et l'efficacité d'une ration alimentaire dépendent beaucoup moins du poids brut des éléments qui la composent que de leur composition et de leur utilisation par l'animal. C'est en vue d'établir, pour chacune des denrées entrant dans la ration de nos chevaux, l'*utilisation* respective de chacun des principes nutritifs fournis par les fourrages, que nous avons déterminé directement par l'analyse la digestibilité de chaque principe chez l'animal au repos, à la marche et au travail. Pour ce faire, la ration journalière est pesée avant sa distribution ; si l'animal ne consomme pas la totalité des aliments qu'on lui a donnés, on recueille les restes et on défalque leur poids de la ration distribuée. On connaît ainsi exactement la quantité, en poids, de la ration-mélange ou des aliments fournis isolément et des principes ingérés.

D'autre part, on réunit avec grand soin les excréments solides, on les soumet à une analyse complète, en appliquant aux dosages exécutés, dans les fèces, les méthodes employées pour analyser les ali-

ments. On obtient ainsi les résultats dont l'ensemble est inscrit dans le tableau II. On connaît alors la consommation réelle d'aliments du cheval dans les différents états de repos et de mouvement. Si, d'autre part, on a déterminé aussi exactement que possible, comme nous le faisons depuis vingt-cinq ans, le chemin parcouru par l'animal et le travail utile qu'il a produit, on est en possession de tous les renseignements nécessaires pour fixer rationnellement le régime du cheval suivant ce qu'on exige de lui.

XVII. — La ration d'entretien du cheval au repos

Les tableaux I et II fournissent des indications précises sur les quantités de principes nutritifs consommés par nos chevaux (tableau I) et digérés par eux (tableau II), par jour moyen de repos, de marche et de travail, pendant la durée d'expérimentation de seize régimes différents.

Cet ensemble de documents représente en quelque sorte le bilan de la digestion chez le cheval dans les trois conditions que nous avons étudiées et qu'il nous faut examiner de plus près.

Le graphique ci-contre (fig. 1) a trait aux *rations d'entretien au repos*. Sous forme de courbes, il représente les variations de poids vifs, les valeurs calorifiques et les relations nutritives des rations *digérées*. Avant de passer en revue les résultats ainsi obtenus, il est utile d'indiquer comment ont été calculées les relations nutritives et les valeurs calorifiques de la partie *digérée* des rations, entrant seule ici en ligne de compte.

Relation nutritive. — Pour l'établir, on a classé en deux groupes les principes nutritifs digérés, savoir : 1° matières azotées ; 2° matières non azotées : ces dernières comprenant l'amidon, les sucres, les celluloses, les indéterminés, et la graisse transformée à l'aide du coefficient 2,4 [1]. Le rapport entre les poids des matières azotées ainsi trouvés et ceux des matières non azotées indique la *relation nutritive* inscrite dans la deuxième colonne de gauche du graphique.

1. Rappelons que 1 gramme de matière grasse correspond à $2^{gr},4$ d'amidon.

Valeur calorifique. — Elle s'obtient en multipliant respectivement le poids en grammes des deux groupes par 4,6 (matières azotées)

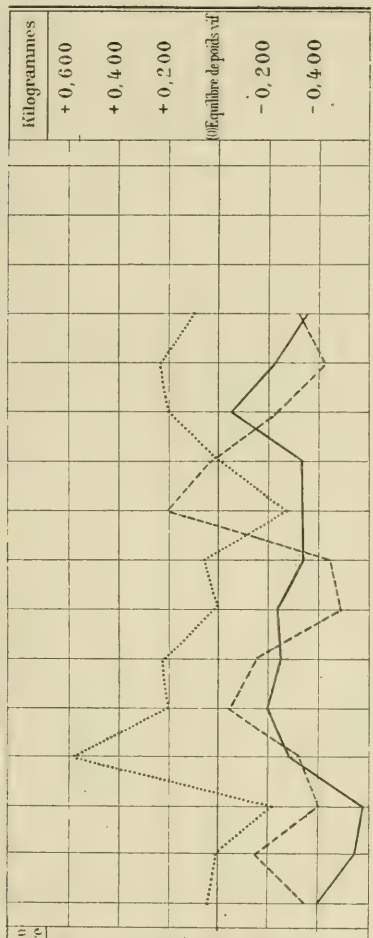


Fig. 1. — Expériences d'alimentation (1880-1899)

Principes nutritifs ingérés et digérés par jour au repos. — Variations journalières de poids vif. — Valeur calorifique et relation nutritive de la ration digérée.

——— Valeur calorifique. ..... Variations de poids. ------ Relation nutritive.

A Mélange de 1881.
B Foin
C Avoine.
D Avoine et paille.
E Maïs et paille d'avoine.
F Maïs et paille de blé.
G Féverole.
H Tourteau.
I Pommes de terre et paille.
K Pommes de terre, grains et paille.
L Maltine.
M Granules cuits.
N Mélange 1897.
O Sucre et foin.
P Sucre et granules.

La dernière colonne indique en kilogrammes les gains ou pertes de poids journaliers des chevaux en expériences.

et 4,1 (matières non azotées) représentant la chaleur de combustion des principes correspondants. En additionnant les deux produits ainsi trouvés, on obtient la *valeur calorifique* de la ration digérée, telle

qu'elle figure dans le présent graphique et dans ceux que nous reproduisons plus loin. Aucun cheval au repos n'ayant été soumis au régime du sucre, les courbes s'arrêtent dans ce graphique à la treizième colonne.

De l'examen du graphique ressort ce fait dominant que, sur treize rations expérimentées, deux seulement se sont montrées insuffisantes pour l'entretien au repos : la ration d'*avoine*, donnée *seule* (C), et celle des *pommes de terre avec paille* (I). Les onze autres ont, non seulement suffi, mais elles ont même été quelquefois trop fortes ; ainsi se vérifie de nouveau la possibilité d'assurer l'entretien du cheval au repos avec les régimes les plus variés. Cette diversité est bien mise en évidence par la courbe des relations nutritives, qu'on voit passer, de 1/4,4 avec la féverole (G), à 1/18 avec les pommes de terre (I) ; les quantités relatives de principes azotés et hydrocarbonés digérés ont donc varié dans des limites très larges. Il en est de même, d'ailleurs, de leurs quantités absolues, comme le montrent les chiffres suivants :

		MAXIMUM		MINIMUM	
			Grammes		Grammes
Matières azotées		Pommes de terre.	197	Feverole.	766
Graisse		Foin	12	Maltine.	178
Amidon		Foin.	346	Maïs	2 800
Sucre		Avoine.	56	Féverole.	250
Cellulose	saccharifiable.	Avoine.	148	Granules.	155
	brute	Avoine.	190	Granules.	854

Les minimums constatés pour la ration d'avoine seule, joints à la très faible quantité de matière sèche totale digérée ($2^{kg},457$) [voir tableau II], montrent que cette ration a été nettement insuffisante, les animaux ayant refusé d'en consommer davantage.

Le cas n'est pas le même avec la ration de pommes de terre et paille : là, il n'y a pas eu insuffisance générale, puisque les chevaux ont eu à leur disposition $5^{kg},2$ de matière sèche, sur lesquels $3^{kg},9$ ont été digérés, et que, dans d'autres essais (mélanges de 1881 et 1897), ils n'ont reçu que $4^{kg},8$ de matière sèche, en ont digéré seulement $3^{kg},4$ et se sont entretenus en bon état. La caractéristique de l'essai à la pomme de terre, c'est plutôt l'insuffisance de matières azotées

digérées, qui devaient être au-dessous, peut-être avec très peu d'écart, mais certainement au-dessous du minimum nécessaire à l'entretien. Dès que la ration, par la substitution de maïs et de féverole à une fraction de pommes de terre, a fourni aux mêmes animaux un supplément journalier de 40 grammes de matières azotées digestibles, les taux des matières hydrocarbonées restant sensiblement les mêmes, ils ont pu se maintenir en équilibre de poids vif ; la relation nutritive n'a pourtant varié que de 1/18 à 1/14,7, c'est-à-dire dans des limites assez étroites. Nous verrons cependant ailleurs que, dans certains cas, on a entretenu des chevaux avec des rations encore moins azotées que la ration de pommes de terre dont il s'agit, mais alors ces animaux recevaient un grand excès de matières hydrocarbonées et surtout des hydrocarbonés totalement digestibles (sucre) : d'une façon générale, on peut admettre que *200 grammes par jour de matières azotées digestibles* dans une ration d'entretien constituent un *minimum* au-dessus duquel il est préférable de se maintenir. Est-il nécessaire, par contre, de dépasser beaucoup ce minimum quand il s'agit de chevaux adultes? Nous voyons sur le graphique qu'avec des rations très azotées, comme celles avec féverole ou tourteau (relations nutritives : 1/4,4 et 1/5,3), on n'a pas obtenu de meilleurs résultats qu'avec des rations moins riches et de relation nutritive plus large (avoine et paille : 1/8,3 ; maltine : 1/9,5 ; maïs : 1/11 et 1/13,3). Il semble donc inutile de donner des rations contenant par jour 500 à 700 grammes de matières azotées digestibles comme on l'a fréquemment admis, et l'on peut dire que : *la quantité moyenne de matières azotées digestibles largement suffisante pour l'entretien au repos d'un cheval de 450 kilogr. est de 350 grammes, d'après nos expériences*, soit, pour *1 000 kilogr.* de poids vif, *780 grammes* par jour.

Si, maintenant, on groupe les matières non azotées comme il a été expliqué précédemment, on constate que l'entretien au repos a été entièrement assuré chaque fois que les rations contenaient, avec le taux précédent de matières azotées, *3^{kg},5 à 4 kilogr. de matières hydrocarbonées digestibles*. Il en résulte, pour la relation nutritive, une valeur oscillant de 1/10 à 1/14,4 pour l'entretien au repos. Quant à la valeur calorifique, elle a varié de *11 000 à 21 000 calories*

pour la ration digérée journellement, mais l'ensemble de nos expériences montre que, chaque fois qu'une ration a fourni, après digestion, 15 000 à 16 000 calories, l'entretien au repos de nos animaux a été largement assuré.

De ce qui précède découlent quelques conséquences importantes, dont les cultivateurs et les propriétaires de chevaux peuvent, ce nous semble, tirer grand profit. Nos vingt années d'expériences conduisent à la confirmation, sans conteste possible, de la valeur du principe des substitutions d'aliments dans la ration des animaux ; elles mettent de plus en évidence un fait d'un intérêt économique considérable, à savoir que dans la ration d'entretien du cheval, on peut réduire dans une très large limite la quantité d'aliments azotés, les plus chers de tous, en élevant proportionnellement le poids des principes nutritifs non azotés, d'un prix vénal beaucoup moins élevé.

Nous allons voir que ces conclusions conservent toute leur valeur dans l'alimentation du cheval à la marche ou au travail.

XVIII. — La ration de transport du cheval à la marche

Si le lecteur veut bien se reporter aux tableaux I et II (pages 198 et 200), il y trouvera pour chacune des seize séries d'expériences les quantités de principes nutritifs ingérés et digérés par nos chevaux à la marche, c'est-à-dire parcourant en deux fois, le matin et le soir, le même chemin que les chevaux au travail. Attachés à la longe derrière les chevaux attelés au manège dynamométrique, les chevaux à la ration de marche n'avaient à transporter que leur propre poids, sans effectuer aucun effort de traction, sur une longueur de 20 kilomètres.

Le graphique ci-contre (fig. 2) résume, comme dans le cas du repos, les variations de poids vifs journaliers, les relations nutritives et les valeurs calorifiques ; les pesées avant et après la marche faisaient connaître les variations de poids ; nous avons expliqué dans le chapitre précédent comment on détermine la relation nutritive et la valeur calorifique des rations ; nous n'y reviendrons pas.

Avant d'examiner les résultats groupés ci-dessus, nous ferons observer que quatre expériences, pommes de terre et grains (K), granules (M), sucre et foin (O), sucres et granules (P), n'y figurent

pas, aucun cheval n'ayant été mis à la marche pendant ces expériences; on a donc dû interrompre les courbes sur les ordonnées correspondantes et figurer en pointillé les parties interrompues.

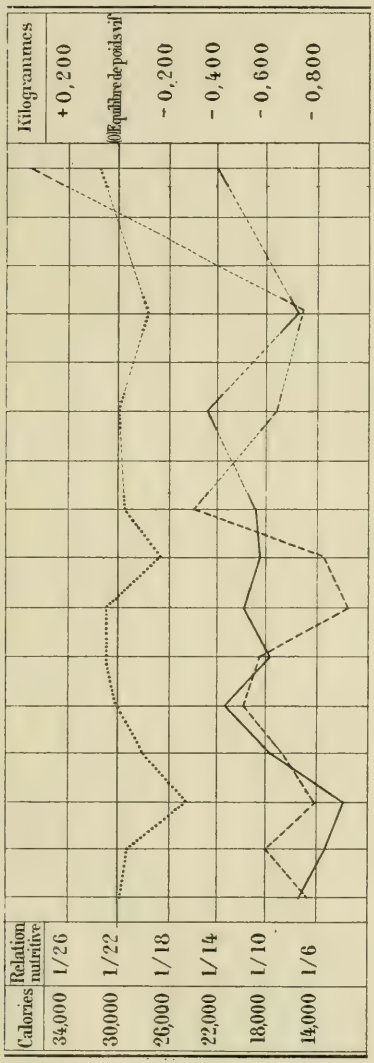


Fig. 2. — Expériences d'alimentation (1880-1899).

Principes nutritifs ingérés et digérés par jour à la marche. — Variations journalières de poids vif. — Valeur calorifique et relation nutritive de la ration digérée.

——— Valeur calorifique ..... Variations de poids -------- Relation nutritive.

A Mélange de 1881.
B Foin.
C Avoine
D Avoine et paille.
E Maïs et paille d'avoine.
F Maïs et paille de blé.
G Féverole.
H Tourteau.
I Pommes de terre et paille.
K Pommes de terre, grains et paille.
L Maltine.
M Granules cuits.
N Mélanges 1897.
O Sucre et foin.
P Sucre et granules.
Q Maïs et sucre.

La dernière colonne indique en kilogrammes les gains ou pertes de poids journaliers des chevaux en expériences.

Sur les douze rations de transport expérimentées, trois se sont montrées plus que suffisantes, *maïs et paille de blé* (F), *féverole* (G),

sucre et maïs (Q) ; deux ont simplement assuré l'équilibre de poids vif, *maïs et paille d'avoine* (E), *maltine* (L), et les sept autres ont été insuffisantes, mais à des degrés divers. Nous constatons à nouveau la grande variété des régimes à l'aide desquels on a pu parer aux besoins de *chevaux de 450 kilogr. transportant chaque jour leur propre poids sur une longueur de 20 kilomètres :* les valeurs extrêmes de la courbe des relations nutritives (1/26, 1,56 et 1/13,48) en sont la meilleure preuve, et nous confirment dans cette opinion que nous avons émise déjà plusieurs fois, qu'il convient de ne pas exagérer l'importance de la relation nutritive pour les animaux de travail adultes. Nous constatons, en effet, si nous envisageons les régimes ayant assuré, les uns largement, les autres strictement, l'entretien de nos sujets d'expériences, que les deux régimes correspondant aux relations nutritives extrêmes (*sucre et maïs ; féverole*) se sont montrés également favorable ; l'un deux (*sucre-maïs*) n'apportait pourtant chaque jour que *182 grammes de matières azotées digestibles*, c'est-à-dire moins que le régime à la pomme de terre, reconnu insuffisant, n'en avait fourni pour l'entretien au repos ; mais, à côté de cette très faible quantité de matières azotées, il contenait plus de *5 kilogr. de matières non azotées digestibles*, ces matières étant groupées comme il a été dit précédemment. L'apport d'une aussi forte quantité d'hydrocarbonés digestibles a donc amplement racheté l'insuffisance de la ration en principes azotés. D'autre part, avec la ration de féverole, dont la relation nutritive a été la plus étroite de toutes, nos chevaux ont augmenté de poids, comme avec le sucre et le maïs, en recevant journellement *six fois plus de matières azotées digestibles (1 063 grammes)*, et seulement *3^{kg},7 de matières non azotées digestibles*. Quand au troisième régime qui a produit une augmentation de poids, on peut le considérer comme un moyen terme entre les deux précédents, puisqu'il a fourni chaque jour plus *de 360 grammes* de matières azotées, soit le double de la ration sucre et maïs, et près de *4 kilogr.* de matières hydrocarbonées, sa relation nutritive étant de 1/11 environ.

Les deux rations qui ont simplement assuré l'équilibre de poids vif présentent également des différences, mais beaucoup plus atténuées ; elles nous montrent, en tous cas, qu'on n'a pas obtenu de

meilleur résultat avec la *ration de maltine* contenant plus de *500 grammes* de matières azotées digestibles et près de *5 kilogr.* de matières hydrocarbonées, qu'avec le *maïs* et la *paille d'avoine* qui ne renfermaient pas même *400 grammes* des premières et $4^{kg},7$ des secondes.

Parmi les rations insuffisantes pour le transport, nous en trouvons de très riches en matières azotées, comme le tourteau, avec 1/5,2 pour relation nutritive, et de très pauvres, comme la pomme de terre, dont la relation nutritive est de 1/16,4; la quantité de matière sèche totale digestible fournie dans ces deux cas particuliers n'a pourtant pas été sensiblement inférieure à celle qu'avaient apportée les régimes reconnus favorables. Ces deux cas mis à part, on constate aisément sur le tableau I (voir p. 198), que les rations insuffisantes contenaient *une trop faible somme d'éléments digestibles.*

Comme nous l'avons fait pour le repos, nous réunissons ici les quantités minima et maxima des principes journellement digérés à la marche :

	MAXIMA		MINIMA	
		grammes		grammes
Matière sèche totale . .	Avoine . . .	2 610	Sucre et maïs. .	5 345
Matières azotées. . . .	Sucre et maïs.	182	Féverole.	1 063
Graisse	Foin	8	Maltine	198
Sucre	Avoine . . .	62	Sucre et maïs, .	2 435
Amidon	Foin. . . .	437	Maïs et paille d'avoine.	3 306
Cellulose { brute. . . .	Avoine seule.	166	Avoine et paille.	755
Cellulose { saccharifiable.	Avoine seule.	201	Foin	621

En ce qui concerne les résultats moyens, et bien qu'il soit difficile, d'après ce qui précède, de conclure d'une façon définitive, on peut dire en considérant l'ensemble de nos essais que la *ration de transport,* pour remplir les conditions qui ont été rappelées plus haut, doit renfermer en général *450 grammes de matières azotées digestibles* et *$4^{kg},5$ de matières hydrocarbonées digestibles,* groupées comme il a été précédemment expliqué. Cette conclusion, rapprochée de ce qui a été dit pour le cheval au repos, montre que dans les conditions de nos expériences, il faut augmenter *d'au moins 2/10 la teneur de la ration d'entretien en principes digestibles pour obtenir celle de la ration de transport.* Les essais de 1881-1882 avaient conduit à ad-

mettre comme suffisante une augmentation de 1/10, mais toutes les expériences faites depuis cette époque démontrent que cette dernière augmentation était trop faible. Quant aux valeurs calorifiques des rations digérées, elles ont, bien entendu, éprouvé d'assez grandes variations, puis qu'on les voit passer d'un minimum de *11 500 calories* avec l'*avoine* donnée seule à un maximun de *23 000 calories* avec la *maltine* ; on peut admettre, dans le cas qui nous occupe, une valeur d'au moins *18 000 calories*, pour que l'animal à la ration du transport se trouve dans de bonnes conditions.

XIX. — Les rations du cheval au travail
Variations des poids vifs

Nous venons de passer en revue l'utilisation des rations d'entretien et de marche de nos chevaux d'expérience. Examinons maintenant la ration de travail.

Le tableau III réunit les quantités de principes digérés dans les trois situations occupées par les chevaux ; mais il est plus explicite que les travaux précédents en ce qui concerne le travail. Il indique, en même temps que la répartition en deux groupes des principes digérés, leur valeur calorifique et la relation nutritive, les divers modes de travail (manège et voiture), et les différentes allures (pas et trot).

Le graphique (fig. 3) [voir p. 216] ne comporte que deux observations préliminaires :

1° Il renferme les résultats de quinze expériences seulement : l'essai d'alimentation aux granules cuits n'y figure pas, parce qu'il n'a pas comporté de chevaux au travail.

2° Comme dans les tableaux précédents, on a compté la cellulose saccharifiable tantôt avec l'amidon, tantôt avec des indéterminés, par suite des changements apportés aux méthodes d'analyses.

La première constatation à faire sur l'ensemble des résultats représentés dans le graphique est l'*augmentation* du poids vif dans deux expériences seulement : *sucre et foin* (O), *sucre et granule* (P). Avec tous les autres régimes, il y a eu *perte* de poids au travail, de sorte que toutes nos rations de travail semblent avoir été insuffisantes à couvrir les dépenses de l'organisme de nos sujets d'expériences. Ces

III. — Rations digérées : Groupement des principes nutritifs, valeurs calorifiques et relations nutritives.

EXPÉRIENCES	SITUATIONS	GROUPEMENT des principes digérés		VALEUR en calories	RELATION nutritive
		Matières azotées	Matières non azotées		
		Grammes	Grammes	Calories	
Mélange 1881	Repos	427,9	3 014,5	14 327,8	1/7,01
	Marche	456,0	3 303,2	15 640,7	1/7,24
	Travail au pas	622,9	4 442,3	21 078,5	1/7,13
	— au trot	577,6	4 225,2	19 980,0	1/7,31
	— (moyenne)	592,6	4 298,1	20 348,2	1/7,25
Moyenne		499,2	3 583,1	16 987,0	1/7,18
Foin	Repos	229,2	2 551,5	11 513,8	1/11,32
	Marche	282,2	2 866,0	13 049,1	1/10,46
	Travail au pas	381,4	3 908,9	17 780,8	1/10,25
	— au trot	444,5	4 889,4	22 091,2	1/11,00
	— à la voiture	411,5	4 491,4	20 307,6	1/10,91
	— (moyenne)	412,3	4 354,6	19 750,5	1/10,56
Moyenne		307,9	3 257,4	14 771,6	1/10,58
Avoine seule	Repos	353,3	2 227,8	10 759,2	1/6,31
	Marche	374,5	2 380,7	11 565,6	1/6,36
	Travail au pas	361,4	2 378,1	11 412,4	1/6,58
Moyenne		363,7	2 341,3	11 272,3	1/6,44
Avoine et paille	Repos	442,0	3 649,8	16 997,4	1/8,26
	Marche	414,5	3 784,4	16 422,7	1/9,13
	Travail au pas	435,2	3 690,2	17 131,5	1/8,48
	— au trot	481,1	4 219,5	19 512,7	1/8,77
	— à la voiture	474,9	4 372,9	20 113,0	1/7,21
	— (moyenne)	472,5	4 216,3	19 460,3	1/8,92
Moyenne		447,8	3 873,7	17 492,0	1/8,65
Maïs et paille d'avoine	Repos	311,5	4 131,6	18 372,5	1/13,26
	Marche	378,7	4 686,8	20 957,9	1/12,38
	Travail au pas	413,9	4 979,3	22 319,0	1/12,03
	— au trot	355,1	5 038,3	22 290,3	1/14,18
	— à la voiture	302,4	4 022,8	17 884,5	1/13,30
	— (moyenne)	357,1	4 733,1	21 048,3	1/13,25
Moyenne		337,9	4 424,7	19 695,6	1/13,09

EXPÉRIENCES	SITUATIONS	GROUPEMENT des principes digérés		VALEUR en calories	RELATION nutritive
		Matières azotées	Matières non azotées		
		Grammes	Grammes	Calories	
Maïs et paille de blé.	Repos	336,4	3 739,7	16 880,2	1/11,12
	Marche	362,0	3 962,5	17 911,5	1/10,94
	Travail au pas	372,5	3 869,6	17 578,9	1/10,39
	— au trot	423,9	4 500,0	20 399,9	1/10,62
	— à la voiture	330,0	3 862,5	17 354,3	1/11,70
	— (moyenne)	375,5	4 071,7	18 421,3	1/10,84
Moyenne		357,4	3 919,9	17 715,6	1/10,97
Féverole	Repos	766,5	3 386,5	17 410,6	1/4,42
	Marche	1 062,6	3 692,6	20 027,7	1/3,48
	Travail au pas	1 335,4	4 101,7	22 959,8	1/5,07
	— au trot	1 352,8	4 531,3	24 805,8	1/2,35
	— à la voiture	1 449,9	4 638,4	25 686,9	1/3,20
	— (moyenne)	1 397,2	4 470,5	24 756,2	1/3,20
Moyenne		1 026,1	3 626,9	19 590,4	1/3,53
Tourteau	Repos	577,0	3 042,2	15 127,2	1/3,27
	Marche	710,1	3 697,7	18 427,1	1/5,21
	Travail au pas	753,0	3 873,0	19 347,2	1/5,14
	— au trot	910,9	3 877,8	20 089,1	1/4,26
	— à la voiture	1 037,6	4 073,6	21 474,8	1/3,93
	— (moyenne)	943,8	3 989,9	20 700,1	1/4,23
Moyenne		745,7	3 553,2	17 998,3	1/4,76
Pomme de terre et paille	Repos	197,1	3 581,8	15 592,1	1/18,17
	Marche	257,9	4 228,6	18 523,6	1/16,40
	Travail au pas	304,1	4 952,4	21 703,6	1/10,29
	— au trot	244,0	4 460,8	19 411,7	1/18,28
	— à la voiture	118,5	4 116,0	17 420,7	1/34,73
	— (moyenne)	211,9	4 470,3	19 302,9	1/21 10
Moyenne		215,4	4 037,7	17 545,4	1/18 75
Pomme de terre, grains et paille	Repos	238,0	3 502,3	15 454,2	1/14,71
	Travail à la voiture	424,8	5 034,1	22 593,9	1/11,85
Moyenne		331,4	4 329,2	19 274,1	1/13,06
Maltine	Repos	474,0	4 500,4	20 632,0	1/9,49
	Marche	533,2	4 973,9	22 845,7	1/9,33
	Travail au pas	577,2	5 216,5	24 042,7	1/9,04
	— au trot	590,2	5 317,2	24 515,4	1/9,01
	— à la voiture	657,1	5 445,4	25 348,8	1/8,28
	— (moyenne)	613,0	5 338,4	24 707,2	1/8,71
Moyenne		532,2	4 874,5	22 433,6	1/9,16

EXPÉRIENCES	SITUATIONS	GROUPEMENT des principes digérés		VALEUR en calories	RELATION nutritive
		Matières azotées	Matières non azotées		
		Grammes	Grammes	Calories	
Granules cuits . .	Repos.	621,4	3 530,8	17 334,7	1/5,68
Mélange 1897 . .	Repos.	402,8	3 230,5	15 097,9	1/8,02
	Marche	434,5	3 195,2	15 099,0	1/7,35
	Travail au pas . . .	625,7	4 264,3	20 361,8	1/6,82
	— au trot . . .	504,9	4 335,9	20 099,7	1/8,59
	— à la voiture .	570,3	4 543,5	21 251,8	1/7,97
	— (moyenne). .	566,6	4 410,7	20 690,3	1/7,78
Moyenne.		468,0	3 612,2	16 962,8	1/7,72
Sucre et foin. . .	Travail à la voiture .	314,8	4 363,1	19 336,8	1/13,86
Sucre et granules.	Travail à la voiture .	395,7	5 279,9	23 467,8	1/13,34
Sucre et maïs . .	Marche	182,5	5 210,5	22 202,6	1/28,55
	Travail au trot . . .	281,4	6 044,3	26 076,0	1/21,48
	— à la voiture .	242,6	5 412,3	23 306,4	1/22,31
	— (moyenne). .	262,0	5 728,2	24 690,8	1/21,86
Moyenne.		242,2	5 599,0	24 070,0	1/23,12

pertes de poids ont varié de *800 grammes* par jour comme maximum, avec l'*avoine seule* (C), à un peu plus de *100 grammes* comme minimum, avec les *pommes de terre* additionnées de *grains* (K); dans la plupart des cas, elles se sont maintenues entre 200 et 400 grammes par jour. Il sera plus facile de comparer les différents régimes quand nous aurons exposé toutes les données concernant le travail; pour le moment, nous ferons simplement remarquer que le travail journalier a varié dans d'assez larges limites (230 000 à 650 000 kilogrammètres) et que ces variations sont loin d'avoir été en rapports directs avec celles des poids vifs. Dans les deux expériences (sucre et foin, sucre et granules) où le poids vif a augmenté, on a demandé aux animaux un travail *intense*, mais de durée beaucoup plus courte que dans tous les autres essais; même avec le régime sucre et maïs, les conditions moyennes dans lesquelles s'est effectué le travail n'ont pas encore été les mêmes : les comparaisons portant sur l'ensemble des expériences sont plutôt malaisées à établir.

En nous limitant aux essais dans lesquels les conditions du travail

ont été semblables, il nous reste encore huit régimes différents, comprenant la suite des expériences effectuées depuis l'avoine jusqu'au

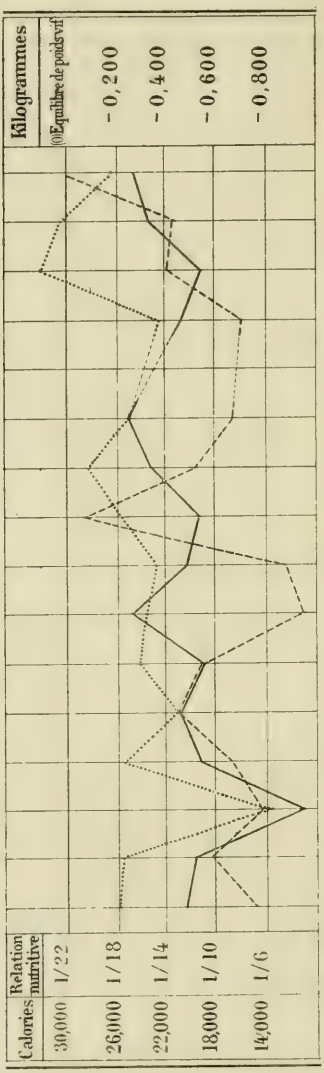


Fig. 3. — Expériences d'alimentation (1880-1899).

Principes nutritifs ingérés et digérés par jour au travail. — Variations journalières de poids vif. — Valeur calorifique et relation nutritive de la ration digérée.

—— Valeur calorifique ..... Variations de poids ------- Relation nutritive.

A Mélange de 1881.
B Foin.
C Avoine.
D Avoine et paille.
E Maïs et paille d'avoine.
F Maïs et paille de blé.
G Féverole.
H Tourteau.
I Pommes de terre et paille.
K Pommes de terre, grains et paille.
L Maltine.
M Granules cuits.
N Mélange 1897.
O Sucre et foin.
P Sucre et granules.
Q Maïs et sucre.

La dernière colonne indique en kilogrammes les gains ou pertes de poids journaliers des chevaux en expériences.

sucre (*maïs, féverole, tourteau, pommes de terre, maltine et mélange* 1897). Dans cette série, le travail journalier minimum a été effectué avec le régime des pommes de terre seules et le travail maxi-

mum avec le mélange ; on voit sur le graphique que dans chacun de ces cas, il n'y a pas eu de relations directes entre le travail et les variations de poids. D'autre part, la perte maximum de poids s'est produite avec le maïs et la paille d'avoine (E), la perte minimum avec les pommes de terre et grains (K) ; or, dans le premier cas, le travail a été inférieur de près de *70 000 kilogrammètres* à celui du second cas. Si, toujours dans la même série, nous comparons des rations *très azotées* comme celles de la *féverole* et du *tourteau* (relations nutritives : 1/3,2 et 1/4,2) avec des régimes trois à quatre fois plus riches en hydrocarbonés (*pommes de terre et grains*, ayant une relation nutritive de 1/11,8), nous voyons que pour un travail sensiblement égal, *les rations azotées ont entretenu les animaux en moins bon état que les rations hydrocarbonées*. Avec la féverole, nos sujets d'expérience recevaient près de *1400 grammes* par jour de matières azotées digestibles pour *4^{kg},5* de matières non azotées, tandis que le régime de pommes de terre et grains ne leur apportait que *425 grammes* des premières et un peu plus de *5 kilogr.* des secondes, dont *3^{kg},8* d'amidon : *la supériorité des matières hydrocarbonées pour la production du travail* ressort donc nettement de cette comparaison. Le régime de la maltine, avec lequel le travail produit a été tout à fait analogue à celui de la féverole, a donné lieu à une moindre perte de poids ; ce régime ne fournissait cependant, chaque jour, que *600 grammes* de matières azotées, mais, par contre, *5^{kg},3* de matières hydrocarbonées digestibles (relation nutritive 1/8,7). Le maïs avec paille de blé et le mélange de 1897 (relations nutritives : 1/10,8 et 1/7,8) peuvent encore fournir de nouveaux exemples à l'appui de ce que nous avançons.

Nous donnons ci-après, comme nous l'avons fait pour le repos et la marche, les minima et maxima journaliers des principes nutritifs digérés :

		MAXIMAS	grammes	MINIMAS	grammes
Matière sèche totale		Avoine seule	2 650	Féverole	5 997
Matières azotées		Pommes de terre	212	Féverole	1 397
Graisse		Foin	21	Maltine	235
Sucre		Avoine et paille	62	Sucre et maïs	2 403
Amidon		Sucre et foin	344	Pommes de terre et grains	3 785
Cellulose	saccharifiable	Avoine seule	136	Foin	872
	brute	Avoine seule	212	Sucre et foin	1 020

Quant aux données moyennes, bien que toutes nos rations se soient montrées un peu faibles, on peut, en tablant sur celles dont le résultat a été le plus satisfaisant, admettre que, dans les conditions de nos expériences, il faut donner chaque jour un minimum de *600 grammes de matières azotées digestibles avec 6 kilogr. environ de matières hydrocarbonées digestibles* pour un travail de 50 000 kilogrammètres en moyenne. Ce résultat, comparé à celui que nous avons admis pour l'entretien au repos, nous montre que le facteur 3/2 adopté, dans les premières expériences, comme représentant le rapport de la ration de travail à celle de repos, doit être regardé comme un minimum ; si l'on désigne par *1* la ration d'entretien au repos, celle de travail devra plutôt être représentée par *1,7* que par *1,5*.

Une dernière remarque concerne la variation des valeurs calorifiques des rations digérées : ces valeurs passent, en effet, de 11 400, pour l'avoine seule, à près de 25 000 pour la féverole, la maltine, le sucre et le maïs ; notoirement insuffisante dans le premier cas, elle n'a pas même atteint la valeur nécessaire dans le dernier cas, malgré sa variation de 1 à 2,5 ; il était d'ailleurs difficile de s'attendre à un autre résultat d'après ce que nous avons constaté au sujet des principes digérés.

XX. — Résumé des expériences sur l'alimentation du cheval. Principes nutritifs ingérés et digérés par jour moyen. Variations moyennes des poids vifs.

Après avoir envisagé isolément les conditions d'alimentation de nos chevaux d'expérience, dans les trois états de repos, de marche et de travail, je crois utile de résumer, comme nous l'avons fait M. Alekan et moi dans notre album *Vingt années d'expériences*, l'ensemble de toutes les données concernant le rationnement et les variations de poids de nos animaux. Le graphique (fig. 4) et les tableaux qui le suivent présentent les *résultats moyens ;* leur examen donne une idée complète de la valeur des divers régimes alimentaires que nous avons expérimentés.

Ce graphique et les tableaux qui l'accompagnent comprennent les seize séries d'essais. Le tableau V indique les variations journalières

de poids vifs pour chaque situation, et les poids moyens des chevaux dans les principales de ces situations. Le tableau IV fournit les don-

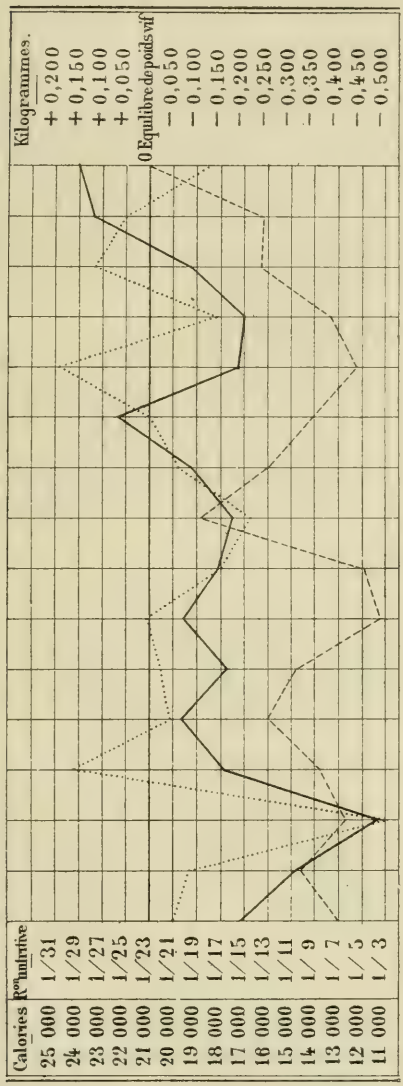


Fig. 4. — Expériences d'alimentation (1880-1899).

Principes nutritifs ingérés et digérés par jour moyen (repos, marche, travail). — Variations moyennes de poids vif.
Valeur calorifique et relation nutritive de la ration digérée.

——— Valeur calorifique ..... Variations de poids ------- Relation nutritive.

A Mélange de 1881.
B Foin.
C Avoine.
D Avoine et paille.
E Maïs et paille d'avoine.
F Maïs et paille de blé.
G Féverole.
H Tourteau.
I Pommes de terre et paille.
K Pommes de terre, grains et paille.
L Maltine.
M Granulés cuits.
N Mélange 1897.
O Sucre et foin.
P Sucre et granulés.
Q Maïs et sucre.

La dernière colonne indique en kilogrammes les gains ou pertes de poids journaliers des chevaux en expériences.

nées moyennes sur les principes digérés, les valeurs calorifiques et les relations nutritives reproduites par le graphique ci-dessus ;

Si l'on envisage la série des expériences, non plus au point de vue

de telle ou telle situation, mais dans l'ensemble de leurs diverses phases, et en se souvenant que chaque régime a souvent comporté une durée d'un an, on voit de suite que les rations adoptées ont lar-

TABLEAU IV

EXPÉRIENCES	PRINCIPES digérés par jour		VALEUR	RELATION	VARIATION moyenne journalière de poids vif
	Matières azotées	Matières non azotées	calorifique	nutritive	
	Grammes	Grammes	Calories		Grammes
I. — Rations suffisantes.					
Granules	621,4	3 530,8	17 334,7	1/5,68	+ 227
Avoine et paille	447,8	3 873,7	77 942,0	1/8,65	+ 162
Sucre et foin	314,8	4 363,1	19 336,8	1/13,86	+ 120
Sucre et granules	395,7	5 279,9	23 467,8	1/13,34	+ 51
Féverole	1 026,1	3 626,9	19 590,4	1/3,53	Équilibre.
Maltine (1)	532,2	4 874,5	22 433,6	1/9,16	Équilibre.
II. — Rations presque suffisantes.					
Maïs et paille de blé	357,4	3 919,9	17 715,6	1/10,97	— 25
Maïs et paille d'avoine	337,9	4 424,7	19 695,6	1/13,09	— 47
Mélange 1881	499,2	3 583,1	16 987,0	1/7,18	— 54
Pommes de terre et grains	331,4	4 329,2	19 274,1	1/13,06	— 62
Foin	307,9	8 257,4	14 771,6	1/10,58	— 88
III. — Rations insuffisantes.					
Sucre et maïs	242,2	5 599,0	24 070,0	1/23,12	— 136
Mélange 1897	468,0	3 612,2	16 962,8	1/7,72	— 150
Tourteau	745,7	3 553,2	17 998,3	1/4,76	— 148
Pommes de terre	215,4	4 037,7	17 545,4	1/18,75	— 215
Avoine seule	363,7	2 341,3	11 272,3	1/6,44	— 502

1. Moyenne (sans février) : 461,55.

gement couvert les besoins de nos animaux dans les six cas suivants : *avoine et paille, féverole, maltine, granules, sucre et foin, sucre et granules ;* dans quelques autres, les pertes de poids moyennes ont été légères (*mélange de 1881, foin, maïs, pommes de terre et grains*) ; enfin, la ration a été insuffisante dans cinq expériences (*avoine seule,*

V. — Variations moyennes journalières de poids vif et poids moyens des chevaux.

EXPÉRIENCES	SITUATION	VARIATIONS journalières de poids	POIDS moyens.
		Grammes	Kilogr.
Mélange 1881	Repos	+ 77	422,9
	Marche	— 20	415,9
	Travail au pas	+ 200	»
	— au trot	— 117	»
	— à la voiture	— 320	»
	— (moyenne)	— 189	419,5
	Moyenne	— 54	419,4
Foin	Repos	+ 8	393,9
	Marche	— 34	407,5
	Travail au pas	— 60	»
	— au trot	— 409	»
	— à la voiture	— 57	»
	— (moyenne)	— 238	391,8
	Moyenne	— 88	397,7
Avoine seule	Repos	— 210	360,1
	Marche	— 273	365,6
	Travail à la voiture	— 823	390,1
	Moyenne	— 502	374,9
Avoine et paille	Repos	+ 580	418,4
	Marche	— 110	432,6
	Travail au pas	— 463	»
	— au trot	— 232	»
	— à la voiture	— 33	»
	— (moyenne)	— 236	413,6
	Moyenne	+ 162	418,7
Maïs et paille d'avoine	Repos	+ 201	450,5
	Marche	+ 25	467,9
	Travail au pas	— 54	»
	— au trot	— 201	»
	— à la voiture	— 730	»
	— (moyenne)	— 463	452,0
	Moyenne	— 47	453,9

EXPÉRIENCES	SITUATION	VARIATIONS journalières de poids	POIDS moyens
		Grammes	Kilogr.
Maïs et paille de blé	Repos	+ 217	448,4
	Marche	+ 62	444,6
	Travail au pas	— 85	»
	— au trot	— 137	»
	— à la voiture	— 703	»
	— (moyenne)	— 320	442,0
Moyenne		— 25	445,0
Féverole	Repos	+ 20	477,2
	Marche	+ 63	472,4
	Travail au pas	— 127	»
	— au trot	— 226	»
	— à la voiture	— 468	»
	— (moyenne)	— 319	470,3
Moyenne		Équilibre	474,1
Tourteau	Repos	+ 76	473,8
	Marche	— 169	487,6
	Travail au pas	+ 4	»
	— au trot	— 255	»
	— à la voiture	— 611	»
	— (moyenne)	— 379	468,5
Moyenne		— 148	474,0
Pomme de terre et paille d'avoine	Repos	— 293	417,3
	Marche	— 28	439,4
	Travail au pas	— 87	»
	— au trot	— 221	»
	— à la voiture	— 350	»
	— (moyenne)	— 234	427,5
Moyenne		— 215	425,6
Pomme de terre, grains et paille	Repos	— 12	402,5
	Travail à la voiture	— 113	393,0
Moyenne		— 62	397,7
Maltine	Repos	+ 201	462,3
	Marche	— 3	456,3
	Travail au pas	— 171	»
	— au trot	— 242	»
	— à la voiture	— 381	»
	— (moyenne)	— 278	441,8
Moyenne		Équilibre	454,2

EXPÉRIENCES	SITUATION	VARIATIONS journalières de poids	POIDS moyens
		Grammes	Kilogr.
Granules cuits	Repos	+ 227	441,5
Mélange 1897.	Repos	+ 89	432,4
	Marche.	— 101	410,4
	Travail au pas.	— 137	»
	— au trot.	— 422	»
	— à la voiture.	— 528	»
	— (moyenne)	— 390	423,4
Moyenne		— 140	430,6
Sucre et foin.	Travail à la voiture.	+ 120	407,3
Sucre et granules . . .	Travail à la voiture.	+ 51	407,3
Sucre et maïs.	Marche.	+ 66	406,3
	Travail au trot.	— 208	»
	— à la voiture.	— 200	»
	— (moyenne)	— 204	402,0
Moyenne		— 136	403,1

tourteau, pommes de terre seules, mélange 1897, sucre et maïs). Pour faciliter l'examen des résultats obtenus avec ces différents régimes, nous les avons groupés, ci-dessus, en trois catégories, suivant que les rations ont été suffisantes, presque suffisantes (pertes de poids inférieures à 100 grammes par jour), ou insuffisantes, et dans chaque catégorie nous avons classé les expériences, non par ordre chronologique comme ci-dessus, mais en commençant par celles dont le résultat a été le plus favorable.

Cet ensemble de données permet de faire quelques remarques intéressantes : ainsi on peut constater que, dans chaque catégorie, se trouvent certaines rations à relation nutritive étroite, et d'autres à relation beaucoup plus large ; nous voyons, par exemple, la *féverole* produire, avec une relation de 1/3,53, le même effet que la *maltine* avec 1/9,16, pour un travail d'ailleurs équivalent.

Dans la deuxième catégorie, le *mélange de 1881* se signale par une perte de poids sensiblement égale à celle du *maïs avec paille d'avoine* et de la *pomme de terre* associée aux *grains*, dont la relation

nutritive est d'environ deux fois plus large ; mais il convient d'ajouter que le travail à la voiture (le seul dont nous avons la valeur exacte pour les expériences antérieures à 1887) a été, dans l'essai au *mélange*, notablement supérieur au travail produit avec le *maïs* ou la *pomme de terre*. Enfin, parmi les rations insuffisantes, nous voyons figurer, avec des pertes de poids très voisines, le *mélange de 1897* et le *tourteau*, dont les relations nutritives sont de 1/7,72 et 1/4,76, le travail moyen ayant été plus considérable avec le mélange qu'avec le tourteau. C'est encore dans la même catégorie que sont rangées les rations de *sucre et maïs* (relation nutritive : 1/23,12) et d'*avoine seule* (relation 1/6,44) qui ont, du reste, produit des résultats bien différents.

On peut conclure de là que *la valeur alimentaire d'une ration dépend beaucoup moins de sa relation nutritive que de la quantité totale de principes digestibles qu'elle renferme.*

Examinons maintenant les diverses expériences, dans l'ordre où elles ont été classées dans le tableau IV. Le régime des *granules* a produit, comme on le voit, le maximum d'augmentation de poids vif avec une faible teneur en éléments digestibles : nous ferons observer que ce régime n'a servi qu'à des chevaux au repos et qu'il est seul dans ce cas, toutes les autres expériences ayant porté sur des animaux au travail. En ce qui concerne l'*avoine avec paille*, il ne peut pas être question de comparer cette ration avec celle d'*avoine seule*, qui a été manifestement insuffisante ; si, d'autre part, le résultat moyen du régime avoine et paille a été meilleur que celui des essais au *maïs*, cela tient, surtout pour le *maïs avec paille d'avoine*, à l'excédent de travail à la voiture fourni dans ce dernier essai. La ration de *sucre et foin* semble, au premier abord, avoir constitué un régime préférable au *foin seul*, grâce au supplément de matières hydrocarbonées fourni aux chevaux, les matières azotées restant d'ailleurs les mêmes, mais nous devons remarquer qu'avec le foin seul, le travail à la voiture a été plus du double de celui du foin avec sucre. Quant aux rations de *féverole* et de *maltine*, elles démontrent que, dans les mêmes conditions de travail, on peut obtenir le même entretien de poids vif, en diminuant les matières azotées digestibles de plus de *500 grammes* par jour et en augmentant, par contre, les hydrocarbonés digestibles de 1 250 grammes.

La différence des résultats constatés avec les *mélanges de 1881 et 1897* ne peut être attribuée au travail, qui aurait plutôt agi en sens inverse, mais il est possible que la ration de 1881 étant déjà insuffisante, la plus faible diminution des matières azotées digestibles, non compensée d'ailleurs par une augmentation de matières hydrocarbonées, soient venue causer en 1897 une perte de poids deux fois et demie plus grande.

Le régime des *pommes de terre avec grains*, succédant à celui des *pommes de terre seules*, a apporté un supplément appréciable de principes azotés et non azotés digestibles ; aussi, tout en produisant plus de travail, les chevaux se sont-ils mieux comportés pendant la deuxième expérience.

Avec le *tourteau*, l'excès de matières azotées de la ration ne paraît pas avoir équilibré l'apport plutôt modeste en principes non azotés.

Enfin, pour terminer cette sorte de revision, nous ferons observer qu'à première vue on pourrait être surpris du résultat final produit par le régime *sucre et maïs*, qui, malgré ses $5^{kg},6$ d'hydrocarbonés digestibles, a causé une perte de poids assez sensible ; en remarquant toutefois que cette ration n'a livré que $0^{kg},262$ par jour de matières azotées digestibles à des animaux en plein travail (voir le tableau II, p. 200), on sera beaucoup moins étonné : il s'est produit ici le phénomène inverse de celui qui a été signalé pour le tourteau, c'est-à-dire que l'excédent de matières hydrocarbonées digérées n'a pas compensé la faiblesse de l'apport en matières azotées, apport qui s'est trouvé inférieur au minimum indispensable à l'entretien des muscles ; tant qu'il ne s'est agi que de simple transport, la ration, même avec moins d'azote, s'est montrée plus que suffisante, mais dès qu'on a voulu faire exécuter un travail mécanique supplémentaire, son insuffisance s'est manifestée aussitôt par la diminution des poids vifs.

Nous résumerons dans un autre article les résultats concernant la statique de l'azote, celle de l'eau et le travail produit par des chevaux d'expérience dans les diverses conditions par lesquelles ils ont passé.

EXPÉRIENCES

SUR

L'ENSILAGE DES BETTERAVES

ET DES PULPES

PAR MM.

L. MALPEAUX
DIRECTEUR

G. LEFORT
PROFESSEUR DE CHIMIE

A L'ÉCOLE PRATIQUE D'AGRICULTURE DU PAS-DE-CALAIS

Pendant la saison d'hiver, on est heureux de disposer des betteraves et des pulpes pour l'alimentation du bétail, car ces substances, très riches en eau, viennent se substituer avantageusement aux fourrages verts que les animaux ont pris l'habitude de consommer pendant la belle saison.

L'agriculteur trouve dans ces produits une précieuse ressource pour la nourriture des bovidés et particulièrement pour l'alimentation des vaches laitières ; il dispose ainsi de l'aliment aqueux que réclament leurs aptitudes physiologiques et leur exploitation économique pour la production du lait.

Malheureusement, les betteraves, comme les pulpes, sont altérables et subissent des pertes plus ou moins importantes pendant la conservation. Il est vrai que certains cultivateurs prétendent qu'elles s'améliorent en silo, qu'elles ont plus de valeur pour la nourriture si elles y ont séjourné au moins deux mois ; mais c'est là une affir-

mation sans preuves formelles, sur le compte de laquelle il serait intéressant d'être fixé. On ne sait pas en réalité si ces produits sont plus nutritifs, et, en admettant même qu'il y eût amélioration de la substance, il resterait à déterminer si le bénéfice ainsi obtenu suffirait pour compenser les pertes qui résultent de la conservation prolongée.

Depuis deux ans, nous poursuivons des recherches à Berthonval pour étudier les changements de composition des betteraves et des pulpes pendant leur conservation, et pour évaluer les pertes qui se produisent dans les diverses conditions d'ensilage.

I. — CONSERVATION DES BETTERAVES

Généralités sur la conservation

On doit rechercher, pour la conservation des racines en général et des betteraves en particulier, à restreindre les pertes au minimum, tout en se plaçant dans des conditions telles que leur enlèvement ultérieur et leur utilisation aient lieu au meilleur prix de revient possible.

On sait déjà que, selon les variétés, cette conservation peut réussir plus ou moins bien et se poursuivre plus ou moins longtemps. Il est reconnu notamment que les grosses racines, riches en eau, s'altèrent plus vite que les racines de grosseur moyenne, dont le taux de matière sèche est plus élevé.

Pour cette raison, la disette mammouth se conserve moins bien que l'ovoïde des Barres et, toutes choses égales, celle-ci s'altère avant la collet rose.

Au point de vue pratique, cela permet de suivre un ordre déterminé pour en régler la consommation. Il est logique d'utiliser en premier lieu les racines susceptibles de se détériorer plus vite, tandis qu'on conservera jusqu'à l'arrière-saison celles qui peuvent aller jusque-là sans perdre sensiblement de leur qualité.

Les racines sont entassées de façon à n'avoir à souffrir ni de la gelée, qui les ferait gâter promptement, ni d'une trop forte élévation

de température, qui favoriserait leur germination et le développement des fermentations putrides.

Dans le cours de ses travaux sur les fermentations, l'illustre Pasteur a parfaitement établi que les betteraves placées dans une atmosphère privée d'oxygène, dans un milieu uniquement pourvu de gaz carbonique et d'azote, sont rapidement détruites par les fermentations qui se développent aux dépens du sucre contenu dans les racines.

En examinant le jus altéré contenu dans ces betteraves, on y trouve les levures organisées des fermentations lactique et visqueuse, ainsi que les vibrions de la fermentation butyrique et de la putréfaction.

Il est par conséquent rationnel d'établir un courant d'air au sein des racines emmagasinées, de façon à chasser le gaz carbonique formé et à maintenir dans la masse une température constante se rapprochant de zéro. Ce résultat est facilement obtenu dans les hivers froids, mais il n'en est plus de même quand le temps reste doux. Il devient difficile en pareil cas d'éviter l'échauffement; aussi est-il prudent de ne jamais accumuler les racines en trop grandes masses.

On ne doit mettre à conserver que des betteraves saines. Celles qui sont gâtées ou blessées apportent les germes de l'altération et contribuent à la décomposition des autres. Les betteraves sont placées en caves ou en silos; ces derniers sont préférables, à la condition d'être exécutés avec beaucoup de soins. Généralement, on utilise les deux modes de conservation, en donnant les betteraves ensilées au bétail à la fin de la saison.

On a parfois recommandé de diviser les racines en cossettes avant l'ensilage. Cette pratique présenterait différents avantages :

1° Elle permettrait notamment de prolonger la conservation au delà des limites ordinaires, c'est-à-dire à une époque où la pousse et les fermentations, par suite d'une température extérieure plus élevée, redoublent d'activité et favorisent la pourriture;

2° Elle diminuerait la main-d'œuvre nécessitée par la préparation des racines au fur et à mesure des besoins de l'alimentation : les betteraves, étant divisées avec le coupe-racines aussitôt la récolte, pourraient être distribuées aux animaux dans les mêmes conditions que les pulpes;

3° Elle rendrait possible l'utilisation des sous-produits du battage, qui n'ont aucune valeur commerciale, des vieux foins et des pailles hachées ; elle augmenterait leur valeur alimentaire. On sait, d'ailleurs, qu'on recommande depuis longtemps d'ajouter aux pulpes des matières absorbantes, pour diminuer les pertes en silo.

« Dans la pratique de l'ensilage, dit Cornevin, le grand avantage du mélange d'un fourrage, pailles, balles, etc., avec les pulpes est d'empêcher le suc de celles-ci de s'écouler dans le boit-tout et de les appauvrir en entraînant les principes nutritifs. Nous avons déjà fait remarquer que de leur côté les fourrages sont ramollis et sont plus facilement attaquables par les sucs digestifs. Ceci amène à préconiser l'utilisation des foins provenant des prairies basses, marécageuses, dans les mélanges en question. Ces foins renferment toujours une forte proportion de cypéracées et de typhacées qui les déprécient. Or, s'il est incontestable que ces plantes, distribuées à l'état de foin au bétail, sont peu nourrissantes et peu appétées ; ce n'est pas parce qu'elles sont pauvres en éléments alibiles, notamment en protéine : les analyses de Mayer ont prouvé le contraire, mais parce que ces éléments sont emprisonnés dans une gangue qui les rend difficilement assimilables. Ce que nous disons ici du foin composé de joncs, de massettes, de souchets s'applique à beaucoup d'autres aliments durs, grossiers, ligneux, tels que les siliques, les tiges de crucifères, les tiges de polygonées et quelques graminées, etc. »

Les fermentations qui se déclarent dans l'ensilage des betteraves hachées doivent produire des effets analogues à ceux qui se produisent dans les silos de pulpes, et c'est en se basant sur l'opinion de Cornevin ou sur celle des agronomes en vue qu'on a recommandé l'incorporation de menues pailles aux betteraves, préalablement réduites en cossettes, et aux pulpes, comme un excellent moyen de diminuer les pertes pendant la conservation, tout en favorisant la consommation de résidus qui autrement resteraient inutilisés.

M. de Lapparent, inspecteur général de l'agriculture, a pratiqué l'ensilage des betteraves hachées pendant plusieurs années et s'en est bien trouvé. M. E. Mir, sénateur de l'Aude, président de la Société de l'alimentation rationnelle du bétail, l'a essayé également en mé-

langeant la betterave dépulpée avec de la menue paille. Ses premiers essais remontent à 1897. L'ensilage s'est très bien comporté, mais la menue paille n'avait pas été employée en quantité suffisante, par crainte d'une fermentation anormale, et le silo a coulé, donnant plusieurs hectolitres de jus par jour.

L'expérience a été reprise en 1899 avec des betteraves qui avaient fermenté par suite de l'accumulation sous des hangars voûtés et mal aérés. La quantité de menues pailles fut considérablement augmentée et l'écoulement ne dura que quelques jours. Au point de vue de la qualité de conservation, cet ensilage donna de bons résultats.

M. E. Mir est porté à croire que la betterave hachée et ensilée a une plus grande valeur alimentaire, soit qu'elle l'emprunte à elle-même ou à la transformation qu'elle subit, soit qu'elle l'emprunte aux matières étrangères auxquelles on l'incorpore, comme la menue paille, les mauvais foins, qui, ayant fermenté, deviennent assimilables et pour cela mieux utilisables.

M. E. Mir ensile chaque année de cette façon la récolte de 10 à 12 hectares de racines et obtient, sans autre manipulation ultérieure, de quoi nourrir un troupeau de quatre-vingts têtes bovines pendant six ou sept mois.

Ce mode de conservation des racines a séduit quelques agriculteurs parce qu'il évite de faire fonctionner chaque jour le coupe-racines pour préparer la ration des animaux et prolonge la conservation.

Il existe donc trois modes de conservation de la betterave :

1° Conservation des betteraves entières ;

2° Conservation des betteraves réduites en cossettes ensilées seules ;

3° Conservation des betteraves réduites en cossettes ensilées avec de menues pailles.

Il était intéressant de déterminer les pertes auxquelles donnent lieu ces différents systèmes, pour savoir celui qu'on doit préférer.

C'est une question sur laquelle nous sommes encore peu documentés, et nous pensons que les essais que nous avons entrepris à ce sujet intéresseront les agriculteurs.

a) CONSERVATION DES BETTERAVES ENTIÈRES

Travaux sur la question

Que savons-nous actuellement sur la conservation des betteraves en silo ? On admet généralement qu'elles perdent du poids et, comme la diminution de la richesse saccharine est un fait toujours constaté, on considère que cette perte est corrélative de la disparition du sucre. Les hydrates de carbone et le sucre en particulier se détruisent par la respiration.

En ce qui concerne la betterave à sucre, M. Pagnoul a montré que les racines ensilées perdent, d'avril à juin, 25 °/₀ de leur sucre par combustion lente. Mais, à part la constatation de la diminution du sucre, on est très peu renseigné sur l'importance de ces pertes ; on les a d'ailleurs déduites plutôt par raisonnement que par détermination expérimentale.

Parmi les travaux originaux qui ont été publiés sur les changements de composition des betteraves ensilées, nous pouvons citer ceux du Dr Miller, à Rothamsted, et du Dr Wood, à l'université de Cambridge.

Les premières expériences du Dr Miller remontent à 1898-1899. Elles ont porté sur des betteraves échantillonnées, aussi semblables que possible sous le rapport du poids et du volume, et conservées dans un endroit très frais. Deux sortes de racines étaient mises en comparaison : les unes différant des autres en ce qu'elles avaient reçu une fumure complémentaire d'environ 600 kilogr. de nitrate à l'hectare. L'expérience commença le 20 octobre 1898 et des échantillons furent prélevés le 31 octobre, le 6 janvier, le 28 mai, le 20 juin et le 11 juillet. Nous donnons ci-après en résumé les résultats des analyses.

On remarque que la perte en matière sèche dépasse la perte en poids total, ce qui s'accorde avec une augmentation de la teneur en eau des racines.

Les résultats obtenus pour l'analyse des betteraves avec nitrate sont très réguliers ; les pertes constatées, bien que plus élevées, n'en

sont que plus certaines. Cela tient à ce que ces betteraves, ayant reçu des nitrates, sont plus grosses et surtout plus aqueuses et s'altèrent rapidement.

DATES — 1898-1899	SANS NITRATE						AVEC NITRATE					
	Perte de poids pour cent	Quantité retrouvée pour cent du poids des racines à l'origine			Perte pour cent de chaque partie constitutive		Perte de poids pour cent	Quantité retrouvée pour cent du poids des racines à l'origine			Perte pour cent de chaque partie constitutive	
		Sucre		Azote	Matière sèche	Sucre		Sucre		Azote	Matière sèche	Sucre
		total	interverti					total	interverti			
31 octobre . . .	4,07	9,67	0,21	0,185	»	»	2,65	8,22	0,37	0,215	»	»
6 janvier. . . .	5,76	9,19	0,92	0,168	8,82	4,96	5,71	7,53	0,54	0,250	4,22	8,4
28 mars	7,22	9,80	0,69	0,156	3,33	+ 1,30	8,39	6,87	2,06	0,224	14,61	16,4
20 juin.	11,03	8,30	4,29	0,190	18,47	14,17	7,08	6,53	2,18	0,207	16,03	20,6
4 juillet	»	»	»	»	»	»	35.18	6,63	3,78	0,227	15,40	19,3

Le Dr Miller fait remarquer que jusqu'ici on a rarement déterminé les pentosanes dans la betterave ; cependant, leur valeur comme nourriture est encore incertaine. Il serait utile de savoir jusqu'à quel point ils sont digestibles. Les changements dans les quantités de pentosanes conservées sont analogues à ceux qui se produisent pour les hydrates de carbone du type $C^6H^{12}O^6$, leur proportion restant en rapport avec les quantités de sucre et se trouvant être moindre dans les betteraves ayant poussé avec du nitrate. De Chalmont a déjà fait remarquer d'ailleurs que les pentosanes diminuent dans les plantes, en même temps que les matières azotées augmentent.

Comme conclusion de ces premiers essais, le Dr Miller fait remarquer que les pertes augmentent avec la durée de conservation et qu'il ne lui paraît pas rémunérateur de la prolonger au delà du mois d'avril. En admettant même que la digestibilité de la cellulose en particulier soit augmentée, une amélioration de cette nature serait de bien maigre importance, parce que la quantité de cellulose contenue dans les betteraves est très faible.

En résumé, le Dr Miller a montré que les betteraves conservées dans une cave bien fraîche s'appauvrissent en matière sèche, surtout à cause de la destruction du sucre. Dans deux silos différents, dont les racines pesaient respectivement 1 250 et 1 500 grammes de poids moyen, il a constaté, de novembre 1898 à juin 1899, une perte de sucre de 14 °/₀ dans le premier cas et de 19,9 °/₀ de sucre dans le second, par comparaison avec leur composition au moment de l'ensilage.

En 1900-1901, Miller fit encore de nouvelles recherches sur les changements dans la composition des betteraves, qui, ayant poussé dans les conditions habituelles, furent conservées en silo dans la ferme de Rothamsted.

Le tableau de la page suivante donne :

1° La composition de la matière sèche des racines ;

2° La composition des racines fraîches ;

3° Les quantités des différentes parties constitutives retrouvées pour cent du poids primitif des racines ;

4° La répartition des pertes.

La perte totale en poids au 26 juillet s'élevait à 14 °/₀, apparemment répartie en 11,5 °/₀ d'eau et 2,5 °/₀ de matières organiques. D'après la proportion pour cent de chaque partie constitutive, les pertes réelles étaient : pour le sucre, de 21,7 °/₀, ; pour les pentosanes, de 18,6 ; pour la cellulose, de 8,7 ; pour l'azote total, de 29,5 °/₀. Cette dernière perte avait porté presque exclusivement sur l'azote non alimentaire.

Le Dr Miller cite quelques travaux sur la question. Il rapporte que les ensilages faits au Danemark ont donné des pertes beaucoup moindres en sucre et en matières sèches, et il attribue ce fait d'une meilleure conservation au climat beaucoup plus froid. Il cite aussi un rapport de F. T. Shutt, au sujet des betteraves conservées à la ferme d'expériences de l'État du Canada, en 1901, d'après lequel, sur les trois variétés de betteraves ensilées et examinées à trois dates différentes : 27 octobre, 15 janvier et 16 mars, on a pu constater des pertes en matière sèche pendant la conservation. L'azote total augmentait dans la matière sèche de deux variétés, à cause de la destruction plus rapide de certaines autres matières organiques non

Composition des betteraves récoltées dans les champs Stackyard Rothamsted 1900

DATES	EAU	MATIÈRE sèche	MATIÈRE organique	CENDRES	SUCRE (saccharose)	SUCRE réducteur	SUCRE total (en saccharose)	PENTOSANES	CELLULOSE	AZOTE total	AZOTE non protéique	AZOTE Protéique total	AZOTE Protéique digestible	AZOTE Protéique non digestible
En matière sèche														
30 novembre 1900	»	100	92,88	7,12	60 »	4,4	64,10	7,13	5,69	1,327	0,913	0,444	0,355	0,089
8 mai 1901	»	100	92,11	7,89	44,4	20,7	64,00	»	5,71	1,338	0,873	0,465	0,352	0,113
26 juillet 1901	»	100	90,98	9,02	37,3	27,6	63,60	7,33	6,59	1,205	0,678	0,527	0,386	0,141
Dans les racines fraîches														
30 novembre 1900	87,94	12,06	11,20	0,86	7,23	0,53	7,73	0,86	0,69	0,163	0,109	0,054	0,043	0,011
8 mai 1901	88,36	11,64	10,72	0,92	5,17	2,41	7,46	»	0,67	0,156	0,103	0,053	0,040	0,013
26 juillet 1901	88,93	11,07	10,07	1,00	4,13	3,06	7,04	0,81	0,73	0,133	0,074	0,059	0,043	0,016
Dans le poids primitif des racines (novembre 1900)														
30 novembre 1900	87,94	12,06	11,20	0,86	7,23	0,53	7,73	0,86	0,69	0,163	0,109	0,054	0,043	0,011
8 mai 1901	82,60	10,88	10,02		4,83	2,25	6,97	»	0,62	0,146	0,095	0,051	0,039	0,012
26 juillet 1901	76,48	9,52	8,66		3,55	2,63	6,05	0,70	0,63	0,115	0,065	0,050	0,037	0,013
Perte réelle des racines (novembre à juillet)	11,46	2,54	2,54	»	3,68	+ 2,10	1,68	0,16	0,06	0,048	0,044	0,004	0,006	+ 0,002
Perte pour cent des éléments constitutifs.	13,60	21,11	22,7	»	»	»	21,7	18,6	8,7	29,5	»	»	»	»

azotées ; l'azote total diminuait au contraire dans une autre variété et la perte affectait surtout l'azote protéique. Pour les trois variétés, on a constaté une perte en azote alimentaire au profit de l'azote non alimentaire.

Au sujet des transformations de la matière azotée dans les betteraves ensilées, nous devons signaler une étude très intéressante faite par le Dr T. B. Wood, directeur de l'université de Cambridge.

Déjà, en 1896-1897, à la suite d'analyses de betteraves effectuées une fois par mois, d'octobre à avril, ce savant avait remarqué que la quantité d'azote nitrique, qui était très grande au mois d'octobre, décroissait rapidement et qu'à la Noël la proportion se trouvait réduite au tiers de la quantité primitive.

Les analyses furent répétées pendant l'hiver de 1897-1898 sur une plus vaste échelle ; des échantillons de six betteraves d'un poids uniforme furent pris pour chacune d'elles.

Voici les résultats qui ont été constatés par l'analyse du jus :

DATES des analyses	AMMONIAQUE	NITRATES	AMIDES	ALBUMINOÏDES	PEPTONES	AZOTE total
1er janvier. .	0,021	0,043	0,044	0,036	0,015	0,159
15 janvier. .	0,019	0,020	0,062	0,036	0,019	0,156
7 mars . .	0,023	0,025	0,089	0,044	0,022	0,203
15 mai . . .	0,017	0,024	0,081	0,046	0,021	0,189

On peut voir que l'azote nitrique va en diminuant pendant que l'azote albuminoïde et surtout l'azote amidé augmentent. Le tableau suivant montre plus clairement cette transformation :

Répartition pour cent d'azote total trouvé dans le jus

DATES des analyses	AMMONIAQUE	NITRATES	AMIDES	ALBUMINOÏDES	PEPTONES	AZOTE total
1er janvier . .	13	27	28	22	10	100
15 janvier . .	12	13	40	23	12	100
7 mars . . .	11	13	43	22	11	100
15 Mai	9	13	43	24	11	100

Dès le 15 janvier, les nitrates ont diminué de moitié et en même

temps la quantité d'amides s'est élevée en proportion. On ne sait pas bien si ces derniers sont utiles dans la ration ; mais, ce qui est certain, c'est qu'ils ne sont pas nuisibles. Il n'en est pas de même des nitrates, qui sont souvent la cause de dérangements dans la digestion. Il y a aussi une légère augmentation dans les albuminoïdes et les peptones, qui sont certainement de la plus haute valeur nutritive.

Ces constatations permettent d'expliquer, dans une certaine mesure, pourquoi les cultivateurs considèrent les betteraves ensilées comme ayant une plus grande valeur alimentaire.

Il est très intéressant de savoir ce que deviennent les racines conservées pendant un temps très long. Le Dr Miller a eu l'occasion d'étudier une betterave après un an d'ensilage ; sur cent racines ensilées en novembre 1899, une seule fut retrouvée tout à fait saine en novembre 1900 ; elle fut analysée et les résultats obtenus permirent de constater des changements très remarquables :

ÉLÉMENTS DOSÉS	COMPOSITION	
	A l'ensilage le 30 novembre 1899	Après un an d'ensilage le 13 novembre 1900
Eau	88,66	94,07
Matière sèche	11,34	5,93
Matière organique	10,38	4,82
Saccharose	6,80	0,20
Sucre réducteur	0,34	0,88
Sucre total en saccharose	7,11	1,03
Cellulose	0,69	0,63
Azote total	0,216	0,259
Azote non protéique	0,131	0,198
Azote protéique	0,085	0,061

Comme on peut s'en rendre compte, la racine ensilée renfermait 5,93 % de matière sèche au lieu de 11,34 lors de son ensilage. Le sucre total était tombé de 7,11 à 1,03 % et le sucre restant était totalement interverti. L'azote total n'avait pas diminué, mais l'azote alimentaire avait, par contre, disparu en partie pour passer à l'état d'amides, les matières azotées non protéiques ayant augmenté dans une forte proportion.

Expériences de Berthonval. But et disposition des recherches

Dans les expériences que nous poursuivons depuis deux ans à Berthonval, nous avons déterminé :

1° La perte brute ainsi que la perte de matière sèche pendant la conservation ;

2° La composition des produits avant et après l'ensilage, pour connaître les transformations des principes immédiats et les pertes inhérentes à chacun d'eux.

Ces déterminations présentent de sérieuses difficultés et l'échantillonnage n'en est pas une des moindres. Nous avons établi, en octobre 1903, différents silos en mettant dans chacun d'eux la même quantité de betteraves entières.

Ils furent défaits en février, quatre mois après. Le poids des racines retrouvées fut déterminé avec soin.

En 1904, nous avons complété ces expériences en disposant à nouveau différents silos semblables de betteraves entières. Nous avons pu ainsi déterminer les pertes et les changements de composition de la substance au bout de deux, quatre, six, huit et onze mois.

Dans tous ces essais, les betteraves furent analysées au début et à la fin des expériences.

Les échantillons étaient de vingt betteraves, comprenant chaque fois le même nombre de grosses, de moyennes et de petites racines, choisies de manière à donner toujours un poids moyen convenable, en rapport avec les variations de poids constatées.

Pour chaque échantillon, les betteraves furent râpées intégralement ; la pulpe, recueillie dans une terrine bien étanche, fut mélangée intimement et débarrassée de semelles provenant de la râpe. Un échantillon de plusieurs kilogrammes fut desséché à l'étuve pour obtenir la matière sèche ; cette dernière fut déterminée à part par la dessiccation de 300 grammes de pulpe et le reste de la râpure fut pressé pour permettre l'analyse du jus. Les premières déterminations effectuées sont résumées dans le tableau suivant.

Variations du poids brut et pertes de matière sèche pendant la conservation des betteraves entières.

DÉSIGNATION DES SILOS		DURÉE de l'ensilage	POIDS de matière ensilée	POIDS de betteraves retrouvées	GAIN ou perte de poids brut	MATIÈRE SÈCHE POUR CENT de matière ensilée	MATIÈRE SÈCHE POUR CENT de matière retrouvée saine	MATIÈRE SÈCHE POUR CENT restant sur 100 kilogr. de betteraves ensilées	PERTE pour cent subie par la matière sèche	100 KILOGR. de matière ensilée ont perdu en matière sèche	100 KILOGR. de matière ensilée ont perdu en sucre total (exprimé en saccharose)
	Betteraves										
1903-1904	B. Kirsch	4 mois (oct.-février)	1 000	1 002	+ 0,2	9,5	9,0	9,02	6,0	0,48	0,57
	B. Collet rose	4 mois (oct.-février)	1 000	1 000	»	13,3	12,1	12,1	9,0	1,2	1,30
1904-1905	B. Ovoïde des Barres	2 mois (16 nov.-16 janv.)	1 000	1 000	»	12	11,8	11,8	1,7	0,2	0,48
	B. Ovoïde des Barres	4 mois (16 nov.-16 mars)	1 000	1 036	+ 3,6	12	11,3	11,7	2,5	0,3	1,37
	B. Ovoïde des Barres	6 mois (16 nov.-16 mai)	1 000	990	— 1,0	12	11,5	11,38	5,2	0,62	2,03
	B. Ovoïde des Barres	8 mois (16 nov.-16 juill.)	1 000	910	— 9,0	12	9,3	8,46	29,5 22,5	3,54 2,70	4,33 4,01
	B. Ovoïde des Barres	11 mois (16 nov.-21 oct.)	1 000	444	— 55,6	12	6,8	3,02	74,8 43,3	8,98 5,20	6,65 5,12

NOTA. — Les chiffres plus petits en interligne représentent les pertes pour cent subies par les betteraves saines.

Pertes de poids brut et de matière sèche

On est surpris, au premier abord, de constater que la perte de poids après quatre et même six mois d'ensilage est à peu près nulle, et nous avouerons que lorsque nous avons retrouvé 1 036 kilogr. pour les betteraves Ovoïde des Barres, conservées pendant quatre mois, nous avons fait recommencer le pesage pour nous assurer qu'il n'y avait pas eu d'erreur.

Il est d'opinion courante en effet que les betteraves diminuent de poids pendant la conservation. Nous estimons qu'il y a lieu de faire une distinction entre la conservation en cave et la conservation dans les silos en terre.

Dans le premier cas, la perte de poids se conçoit facilement, car par évaporation les racines perdent de l'eau; d'ailleurs, on remarque souvent que les betteraves conservées de cette manière deviennent molles et se flétrissent au bout d'un certain temps.

Dans les silos en terre, au contraire, les betteraves sont toujours bien fraîches et présentent un aspect tout à fait semblable à celui qu'elles avaient à l'origine. Les variations de poids qu'elles subissent sont très faibles, étant donné qu'elles se trouvent dans un espace saturé de vapeur d'eau. Grâce à leur hygroscopicité, elles maintiennent non seulement leur teneur en eau, mais l'absorption de l'humidité vient compenser assez régulièrement la perte en matière sèche.

M. Georges Dureau, dans son *Traité sur la betterave à sucre*, rappelle à ce sujet que Marek avait constaté en 1883, sur des betteraves à sucre mises en silo, une augmentation de poids de :

Après un mois.	2 %
Après deux mois	4,5
Après trois mois	6,6
Après quatre mois.	7

Comme M. Dureau, nous pensons que la variation du poids brut des betteraves est en rapport avec les conditions météorologiques observées durant la conservation et ne permet pas d'apprécier les pertes véritables. Faut-il rappeler à cette occasion que Dr Miller a

constaté qu'une betterave restée saine après un an d'ensilage, encore bien fraîche, bien dure, absolument semblable aux racines de la dernière récolte, sans aucune apparence extérieure de modification, ne renferme plus que 6 °/₀ de matière sèche sur plus de 11 °/₀ qu'elle contenait au début.

Après huit mois, les pertes s'accentuent; après onze mois, elles sont énormes, mais elles résultent uniquement de l'altération des racines mortes, qui entrent en putréfaction. Les betteraves restées saines ne perdent pas de poids pour leur propre compte.

En juillet, nous avons retrouvé en effet 910 kilogr. de betteraves saines et 91 kilogr. de betteraves gâtées inutilisables. Soit 1001 kilogr. retrouvés sur 1000 kilogr. ensilés à l'origine. Ce sont donc seulement les betteraves gâtées qui forment le déchet. Il est important de le constater pour la recherche des transformations des éléments constitutifs de la betterave. On sait ainsi qu'une racine retrouvée saine a conservé sensiblement le poids qu'elle avait lors de la mise en silo.

Après onze mois, plus de la moitié des betteraves étaient gâtées, en décomposition putride tellement avancée qu'il n'était plus possible de les peser séparément. Cependant, il était toujours facile de voir à l'apparence que les betteraves restées indemnes avaient dû encore conserver leur poids primitif. Nous trouvons d'ailleurs la confirmation de cette supposition en considérant le pourcentage des cendres. Celui-ci n'a guère varié, ainsi qu'on pourra le constater dans les tableaux qui suivent.

L'altération rapide des racines pendant ces derniers mois de conservation prolongée s'explique assez aisément.

Jusqu'au mois de mars, et surtout dans le début de l'année, la conservation est excellente ; on constate que toutes les racines continuent à vivre, elles développent de jeunes pousses autour du collet. Deux mois plus tard, les jeunes pousses ont disparu, elles se sont flétries, noircies et desséchées. A partir de cette époque, beaucoup de racines meurent. Avec la température plus élevée, la respiration devient plus active, les racines, peu à peu privées d'oxygène, sont dans une atmosphère d'azote et d'acide carbonique qui les asphyxie. Ces causes d'altération s'exagèrent pendant les grandes chaleurs de l'été,

en même temps que les fermentations, également favorisées, désorganisent les tissus des racines qui ont cessé de vivre.

La conservation des racines entières après le mois de mai, et surtout durant tout l'été, est donc grosse de difficultés ; fort heureusement, à cette date, elle n'est plus que d'une utilité très discutable.

Une condition indispensable de réussite, c'est que les racines restent vivantes, et, pour cela, il faudrait faire des silos présentant une section d'autant plus petite que l'on voudrait avoir une conservation plus longue ; ces silos devraient être pourvus de nombreuses cheminées d'aération qui permettraient le renouvellement de l'air et l'évacuation de l'acide carbonique. Nous croyons même qu'il serait nécessaire de défaire le silo et de le refaire aussitôt, pour arriver à une aération suffisante. Cette opération devrait être recommencée tous les mois d'été ; elle permettrait le triage des betteraves gâtées, ce qui éviterait la contamination des racines en bon état. Une telle besogne exigerait une main-d'œuvre assez importante. Il serait sans doute préférable de transporter, à partir du mois d'avril ou du mois de mai, les betteraves des silos dans des caves, où elles se conserveraient mieux pendant la saison chaude, en raison d'une température à la fois plus basse et plus régulière, et d'une aération plus convenable. Enfin, on pourrait aussi prolonger la conservation en les ensilant après les avoir débitées en cossettes.

Nous constatons également que les pertes en matière sèche augmentent avec la durée de la conservation. Dans les quatre premiers mois, la proportion de matière sèche ne diminue pas trop, tout au moins en ce qui concerne les ovoïdes des Barres, qui se sont mieux conservées que les autres variétés (probablement parce qu'elles étaient exceptionnellement petites, ayant beaucoup souffert de la sécheresse pendant leur végétation). Il y a tout lieu de croire que, si elles avaient été plus grosses, elles auraient été aussi plus aqueuses et auraient perdu davantage.

Passé le mois de mai, les pertes en éléments nutritifs s'élèvent rapidement. Après huit mois, il en manque 29,5 °/₀ et après onze mois 74,8, c'est-à-dire que les trois quarts de la matière sèche ont disparu ou ne peuvent plus être utilisés, en raison de la pourriture.

Si nous nous bornons à considérer les racines retrouvées en parfait état dans le silo, nous trouvons que, bien qu'ayant toujours à peu près le même poids qu'au moment de l'ensilage, elles ont perdu pour leur propre compte, 22,5 °/₀ de leur matière sèche en huit mois et 43,3 °/₀ en onze mois. Il en résulte qu'en admettant même la possibilité de retrouver toutes les betteraves bien saines après onze mois de conservation, il n'en resterait pas moins à constater que, du sixième au huitième mois, la perte de matière sèche s'est élevée de 20 °/₀, et que, du huitième au onzième mois, cette perte s'est encore accrue de la même quantité.

Pour la clarté de l'exposé qui va suivre, nous appellerons *conservation normale* celle qui doit se terminer au plus tard vers la fin de mai ; c'est d'ailleurs celle que l'on cherche à réaliser couramment dans la pratique ; elle ne donne lieu qu'à des pertes de matière sèche relativement peu importantes. Nous réserverons la dénomination de *conservation anormale ou prolongée* à celle qui, par le fait même qu'elle est continuée plus longtemps, se traduit par des pertes exceptionnelles.

Composition comparée des betteraves avant et après l'ensilage

Le tableau suivant, donnant la composition des betteraves avant et après l'ensilage, permet de se rendre compte des transformations que subissent les différents principes immédiats. Nous rappelons que les échantillons ont été prélevés avec le plus grand soin possible, qu'ils étaient toujours recherchés de manière à présenter un poids moyen bien proportionné à la variation du poids total des matières ensilées, qu'ils se composaient toujours de vingt betteraves réparties en un même nombre de grosses, de petites et de moyennes racines, de façon à éliminer des essais, autant qu'il était possible de le faire, l'influence individuelle des racines choisies pour les analyses.

On remarque que, par suite de la diminution plus rapide du sucre, la proportion du non-sucre va en augmentant.

On pourrait discuter longuement sur ces résultats, mais il est plus facile de tirer les déductions de l'analyse par la comparaison des

COMPOSITION	BETTERAVE blanche à collet rose de distillerie		BETTERAVE idéale de kirsch		BETTERAVE OVOÏDE DES BARRES						
	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après deux mois	Après quatre mois	Après six mois	Après huit mois	Après onze mois
Poids moyen de la racine	1,100	1,100	1,400	1,400	0,390	0,390	0,415	0,390	0,390	0,390
Densité du jus à 15 degrés	4°,8	4°,6	3°,7	3°,5	4°,5	4°,2	4°,1	3°,7	3°,0	2°,2
Sucre pour cent en centimètres cubes de ce jus	9,48	6,98	5,39	3,83	Sucre . . 8,30	7,20	5,60	4,61	0,86	0,41
					Glucose. . 0,12	0,51	1,10	1,67	3,20	2,05
Sucre pour 100 grammes de betteraves	8,60	6,34	4,94	3,52	Sucre . . 7,61	6,60	5,30	4,27	0,80	0,39
					Glucose. . 0,11	0,48	1,01	1,53	2,98	1,93
Matière sèche	13,30	12,10	9,50	9,00	12,00	11,80	11,30	11,50	9,3	6,8
Humidité	86,70	87,90	90,50	91,00	88,00	88,20	88,70	88,50	90,7	93,2
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composition de la matière sèche.										
Matières organiques azotées	7,25	7,20	8,00	8,10	12,40	12,00	15,10	14,50	16,10	19,25
Matières grasses	0,70	0,80	0,80	1,60	0,10	0,40	0,80	0,60	1,70	1,60
Matières sucrées . . saccharose	64,10	50,80	52,70	40,40	62,80	56,80	46,90	36,70	8,60	5,70
Matières sucrées . . glucose	»	9,40	»	9,10	0,90	4,10	8,90	13,20	32,00	28,40
Autres extractifs non azotés	7,35	7,00	11,40	14,00	5,40	7,40	5,90	13,30	16,60	12,05
Fibre ou cellulose	7,10	9,70	9,00	10,60	7,40	7,40	9,60	9,30	10,20	13,00
Matières minérales	13,50	15,10	15,10	16,20	11,00	11,90	12.80	12,40	14,80	20,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Azote organique total	1,16	1,15	1,28	1,29	1,98	1,92	2,41	2,32	2,57	3,08
— alimentaire	0,60	0,63	1,03	0,63	1,03	0,82	1,20	0,98	0,84	1,30
— non alimentaire	0,56	0,52	0,25	0,66	0,95	1.10	1,21	1,34	1,73	1,78
— nitrique	0,292	0,204	0,422	0,385	0,38	0,40	0,28	0,29	0,40	0,41
Sucre total exprimé en saccharose	64,1	59,7	52,7	49,0	63,7	60,7	55,4	49,3	39,0	32,7

Composition des racines à l'état normal

	BETTERAVE collet rose		BETTERAVE kirsch		BETTERAVE OVOÏDE DES BARRES					
	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après deux mois	Après quatre mois	Après six mois	Après huit mois	Après onze mois
Eau et matières volatiles	86,70	87,90	90,50	91,00	88,00	88,20	88,70	88,50	90,70	93,20
Matières organiques azotées	0,96	0,87	0,76	0,73	1,49	1,42	1,71	1,67	1,50	1,31
Matières grasses	0,09	0,10	0,08	0,14	0,01	0,05	0,09	0,07	0,16	0,11
Matières sucrées. glucose	»	1,14	»	0,81	0,10	0,48	1,01	1,52	2,98	1,93
Matières sucrées. saccharose	8,53	6,15	5,00	3,64	7,54	6,70	5,30	4,22	0,80	0,39
Autres matières organiques	0,98	0,84	1,37	1,26	0,58	0,88	0,66	1,52	1,53	0,82
Cellulose	0,94	1,17	0,85	0,96	0,89	0,87	1,08	1,07	0,95	0,88
Matières minérales	1,80	1,83	1,44	1,46	1,39	1,40	1,45	1,43	1,38	1,36
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Sucre total exprimé en glucose	8,98	7,61	5,26	4,64	8,01	7,53	6,59	5,96	3,82	2,34
Matière sèche	13,3	12,1	9,5	9,00	12,00	11,8	11,3	11,5	9,3	6,8
Azote organique total	0,154	0,119	0,122	0,116	0,238	0,227	0,272	0,267	0,239	0,209
— alimentaire	0,080	0,076	0,098	0,057	0,124	0,098	0,135	0,113	0,078	0,088
— non alimentaire	0,074	0,063	0,024	0,059	0,114	0,129	0,137	0,154	0,161	0,121
— nitrique	0,039	0,025	0,040	0,035	0,046	0,047	0,032	0,033	0,037	0,030

racines à l'état normal, c'est-à-dire telles qu'elles sont distribuées aux animaux.

Connaissant la composition de la matière sèche et la proportion de celle-ci dans les betteraves retrouvées, il nous était facile de rétablir, par le calcul, cette composition des racines fraîches.

Pendant la conservation normale, à part la transformation d'une partie des nitrates en azote non alimentaire, il est difficile, en raison de la petite quantité de cellulose et de matières azotées que les betteraves renferment, de conclure que les racines éprouvent une amélioration matérielle. Nous remarquons cependant que la diminution des nitrates pour la betterave ovoïde des Barres n'avait pas encore eu lieu après deux mois et qu'il en restait encore au moins les deux tiers après quatre et six mois et même vers la fin des expériences.

Le passage des nitrates à l'état d'amides ne s'est effectué qu'en partie et bien plus lentement que dans les expériences du Dr Wood.

La formation des composés amidés aux dépens des nitrates est un phénomène régulièrement constaté dans la nutrition des végétaux.

On admet maintenant que l'utilisation de l'azote nitrique, que les plantes puisent dans le sol pour former les principes immédiats, se fait par deux étapes successives : réduction et formation d'ammoniaque ou de composés amidés qui se produit même à l'obscurité, transformation de cette ammoniaque en matière albuminoïde qui exige l'intervention de la lumière comme l'assimilation du carbone.

M. Demoussy a montré que si les nitrates s'accumulent dans les betteraves, c'est parce qu'ils acquièrent dans les cellules une insolubilité relative. Le protoplasma exerce sur ces sels une sorte de pouvoir rétentif qui équivaut à une véritable précipitation.

Dans les silos, la lumière faisant défaut, la modification subie par les nitrates se borne à la première étape, c'est-à-dire à la réduction. Leur transformation en amides doit surtout avoir lieu à l'époque où les racines commencent à pousser. Il y a là une sorte de germination qui met en jeu les diastases. Ce seraient celles-ci qui, pour donner aux matières azotées de réserve une forme de voyage, détermineraient l'apparition des amides aux dépens des nitrates comme des albuminoïdes.

Il est probable que la betterave s'améliore un peu au point de vue

de ses qualités digestives, mais cette amélioration ne peut pas être bien grande, car les betteraves fraîches ont déjà des coefficients de digestibilité très élevés. D'après des déterminations récentes de M. Garola, sur la betterave fourragère corne de bœuf et la betterave sucrière Klein Wanzleben, effectuées peu de temps après la récolte, ces coefficients sont les suivants :

MATIÈRES	CORNE DE BŒUF	KLEIN WANZLEBEN
Albuminoïdes	81,8	65,8
Amides	97,8	93,4
Sucres	99,6	99,5
Pentosanes	89,7	94,2
Cellulose	82,4	75,2

Donc, si nous négligeons les considérations sur le coefficient de digestibilité des éléments, coefficient que l'analyse ne permet pas d'évaluer sans avoir recours à l'expérience directe sur les animaux, nous sommes plutôt amenés à constater, en raison de la disparition progressive des matières sucrées, que la betterave diminue de qualité pendant l'ensilage.

D'autre part, il est facile de remarquer que, si toute la matière azotée persiste dans la conservation, elle n'en subit pas moins une transformation défavorable à sa valeur nutritive. Les albuminoïdes vont en diminuant tandis que le taux de l'azote non alimentaire, surtout représenté par les amides, s'accroît progressivement.

Ces amides possèdent un coefficient de digestibilité tel qu'on peut admettre qu'elles sont digérées en totalité, mais on doute encore beaucoup de leur valeur nutritive, car il semble qu'elles sont rapidement éliminées de l'organisme sans avoir produit d'effet utile.

Il y a, en définitive, transformation de l'azote alimentaire des betteraves en azote non alimentaire.

Répartition des pertes de matière sèche

Puisque nous connaissons la variation du poids des racines pendant l'ensilage et leur composition humide au moment de l'ouverture des silos, nous pouvons calculer le poids des matières retrouvées

ÉLÉMENTS DOSÉS	BETTERAVE collet rose			BETTERAVE IDÉALE de kirsch			BETTERAVE OVOÏDE DES BARRES										
	Quatre mois			Quatre mois			A l'ensilage	Deux mois		Quatre mois		Six mois		Huit mois		Onze mois	
	A l'ensilage	Après l'ensilage	Pertes %	A l'ensilage	Après l'ensilage	Pertes %		Après l'ensilage	Pertes %	Après l'ensilage	Pertes %	Après l'ensilage	Pertes %	Après l'ensilage	Pertes %	Après l'ensilage	Pertes %
Matière sèche	12,3	12,10	9	9,5	9,02	6	12,0	11,8	1,7	11,7	2,5	11,38	5,2	8,46	29,5	3,02	74,8
Matières azotées totales	0,96	0,87	9,4	0,76	0,73	5,3	1,49	1,42	4,7	1,77	+ 18,1	1,65	+ 10,7	1,37	8,0	0,58	61,1
Azote alimentaire	0,080	0,076	5	0,098	0,057	41,8	0,124	0,098	21	0,140	+ 13,0	0,112	9,8	0,071	42,7	0,039	68,6
Azote non alimentaire	0,074	0,063	»	0,024	0,059	»	0,114	0,129	»	0,142	»	0,152	»	0,147	»	0,054	»
Azote nitrique	0,039	0,025	»	0,040	0,035	»	0,046	0,047	»	0,034	»	0,032	»	0,031	»	0,013	»
Matières grasses	0,09	0,10	»	0,08	0,14	»	0,01	0,05	»	0,09	»	0,07	»	0,15	»	0,05	»
Matières sucrées en glucose	8,98	7,61	1,53	5,26	4,65	11,6	8,4	7,53	6,3	6,83	15,0	5,90	26,6	3,48	56,7	1,04	87,1
Cellulose	0,94	1,17	+ 21,5	0,85	0,96	+ 12,9	0,89	0,87	2,2	1,12	+ 25,8	1,06	+ 19,1	0,86	3,4	0,39	56,2
Matières minérales	1,80	1,83	»	1,44	1,45	»	1,39	1,40	»	1,50	»	1,42	»	1,26	»	0,60	»
Saccharose	8,53	6,15	27,9	5,00	3,65	27,0	7,54	6,70	12,5	5,49	27,2	4,18	44,6	0,73	90,3	0,17	97,7

NOTA. — Le signe + indique un gain au lieu d'une perte.

pour cent de la betterave ensilée et déterminer ainsi la perte pour cent subie par chacun de leurs éléments constitutifs.

Les résultats figurent dans le tableau ci-dessus.

Après l'ensilage, même dans une conservation prolongée, on retrouve sensiblement la totalité de l'azote contenu dans les betteraves.

Il est même assez curieux de constater une augmentation de matières azotées dans les racines après quatre mois d'ensilage. Nous avons attribué cette différence à l'influence individuelle des betteraves constituant le lot analysé, mais n'est-il pas bizarre qu'au bout de six mois le même fait se soit encore présenté?

Il nous paraît invraisemblable que les betteraves ensilées soient capables de fixer de l'azote, mais ces résultats nous conduisent à affirmer que la matière azotée se conserve en totalité dans les betteraves entières. Les analyses de Miller et de Wood, que nous avons citées précédemment, permettent d'ailleurs de faire la même constatation.

Pendant la conservation prolongée au delà de six mois, surtout après onze mois, nous avons à constater sur tous les éléments dosés des pertes énormes. Cela n'est pas étonnant, puisque plus de la moitié des matières ensilées étaient pourries, au point d'être tout à fait inutilisables.

Composition et pertes subies par les betteraves saines pendant une conservation prolongée

ÉLÉMENTS DOSÉS	BETTERAVE OVOÏDE DES BARRES					BETTERAVE DU Dr MILLER		
	A l'ensilage	Après huit mois d'ensilage		Après onze mois d'ensilage		A l'ensilage	Après un an d'ensilage	
	Composition		Pertes °/o	Composition	Pertes °/o	Composition		Pertes °/o
Matière sèche	12,0	9,3	22,5	6,8	43,3	11,34	5,93	47,7
Azote organique total	0,238	0,239	»	0,209	12,1	0,216	0,259	+ 19,9
Azote alimentaire	0,124	0,078	37,1	0,088	29,0	0,085	0,061	28,2
Azote non alimentaire	0,114	0,161	+ 41,2	0,121	+ 6,1	0,131	0,198	+ 51,1
Saccharose	7,54	0,80	89,4	0,39	94,8	6,80	0,20	97,1
Sucre total en glucose	8,04	3,82	52,5	2,34	70,9	7,50	1,09	85,5
Cellulose	0,89	0,95	+ 86,7	0,88	1,1	0,69	0,63	4,1

NOTA. — Le signe + indique un gain au lieu d'une perte.

Abstraction faite de la pourriture dans le silo, en supposant, comme nous l'avons déjà fait pour l'évaluation des pertes de matières sèches, qu'on retrouve toutes les betteraves saines avec leur poids initial, on arrive, pour la conservation prolongée, aux résultats indiqués dans le tableau de la page précédente.

Nous rapprochons les chiffres que nous avons trouvés de ceux que le Dr Miller a donnés comme représentant la composition de la betterave qu'il avait analysée après un an d'ensilage. Comme il est facile d'en juger, ils s'accordent assez bien. Il se confirme que toutes les matières azotées organiques restent dans la racine, seulement l'azote alimentaire diminue au profit de l'azote non alimentaire et en définitive la valeur nutritive des matières azotées et, partant, la qualité va en diminuant.

La perte principale subie par les principes immédiats concerne le sucre. Elle est pour le sucre cristallisable :

Après deux mois.	de 12,5 %
Après quatre mois	27,0
Après six mois	44,6
Après huit mois	90,3
Après onze mois.	97,7

On voit qu'elle est à la fois très rapide et très régulière. Si, dans la conservation prolongée, nous nous bornons à considérer les pertes subies seulement par les betteraves saines, nous trouvons encore que le sucre cristallisable disparu représente :

Après huit mois.	89,4 %
Après onze mois.	94,8

tandis que les analyses du Dr Miller donnent :

Après douze mois	97,1 %

De sorte que les betteraves qui, lors de leur mise en silo, contenaient 7,54 de sucre cristallisable pour 100, n'en contenaient plus que 0,80 après huit mois et 0,39 après onze mois. Le Dr Miller, de son côté, n'avait plus trouvé que 0,20 % de sucre sur 6,8 existant à l'origine.

Que devient tout ce sucre perdu ?

D'après les analyses qui précèdent, il est facile de voir qu'une partie du saccharose passe à l'état de sucre interverti, tandis que l'autre partie est détruite plus ou moins complètement par combustion lente ; il y a oxydation de la matière sucrée avec dégagement d'acide carbonique.

En réalité, la destruction des sucres ne va pas toujours jusqu'à disparition complète de la substance organique en gaz carbonique et en eau : une partie peut subir des fermentations qui modifient sa molécule, mais y laissent encore du carbone combiné à l'oxygène et à l'hydrogène.

On trouve plus de matières grasses dans les betteraves ensilées qu'elles n'en contenaient au début. Cette augmentation doit provenir de la transformation des matières sucrées. La respiration elle-même peut n'oxyder qu'une partie seulement du carbone du sucre. Enfin, le sucre a dû servir aussi à élaborer de la cellulose, puisque nous trouvons, tout au moins pour ce qui concerne la conservation normale, que la proportion de cette substance est devenue plus grande.

Ce qui prouve que la disparition des sucres n'est pas due à une simple oxydation par la respiration donnant lieu à leur destruction complète sous forme d'acide carbonique et d'eau, c'est que nous avons trouvé d'une manière générale que la perte en sucre était plus grande que la perte totale de matière sèche ; nécessairement, une certaine quantité du sucre disparu avait laissé des résidus organiques.

Les glucoses retrouvés sont aussi nutritifs que le sucre lui-même. Il faut dès lors, pour apprécier exactement la dépréciation subie par les racines à cause de la destruction du sucre, calculer la perte réelle en considérant la totalité des matières sucrées.

Nous avons constaté de cette manière que la proportion de ces matières disparues était :

Après deux mois.	de 6,3 %
Après quatre mois.	15,0
Après six mois	26,6
Après huit mois.	56,7
Après onze mois.	87,1

Les betteraves restées saines avaient perdu pour leur propre compte :

Après huit mois.	52,5 %
Après onze mois	70,9
Après douze mois	85,5 [1]

Si nous calculons le poids de sucre ainsi perdu sur une récolte de 60000 kilogr. de racines à l'hectare, nous trouvons, pour les différentes variétés, aux diverses époques de la conservation, les chiffres suivants :

Poids des matières sucrées perdues (calculées en glucose) pendant l'ensilage sur la récolte d'un hectare

Betteraves kirsch (quatre mois)	0,61 × 600 =	366 kg
— collet rose (quatre mois) . . .	1,37 × 600 =	822
— ovoïde des Barres (deux mois) .	0,51 × 600 =	306
— — (quatre mois).	1,21 × 600 =	726
— — (six mois) . .	2,14 × 600 =	1 284
— — (huit mois). .	4,22 × 600 =	2 532
— — (onze mois) .	5,70 × 600 =	3 420
— du Dr Miller (douze mois) . . .	6,41 × 600 =	3 846

De tels résultats suffisent pour prouver que la conservation des betteraves se fait aux dépens de leurs éléments nutritifs, principalement au détriment des sucres, et qu'on ne gagne rien à prolonger la durée de l'ensilage, puisque la valeur alimentaire des produits conservés décroît progressivement.

b) CONSERVATION DES BETTERAVES HACHÉES

De quelle manière se conservent les betteraves hachées ? Quelles sont les diverses transformations des principes immédiats des racines ensilées de cette manière ? Peu de travaux ont été faits, croyons-nous, sur ces importantes questions.

---

1. Analyses du Dr Miller.

Pour ce qui concerne la betterave à sucre, M. Pagnoul a montré, par des expériences qu'il fit en 1889, que les racines coupées perdent tout leur sucre par fermentation, dans l'espace de quatre mois (novembre à mars).

« Les betteraves coupées, dit M. Pagnoul en rendant compte de ses essais, paraissent subir une altération continue qui commence immédiatement après la section. Une petite portion de sucre doit se transformer d'abord en glucose, puis en alcool, puis en acide acétique et le passage à l'état de glucose doit durer plus ou moins de temps, suivant que les circonstances extérieures entravent ou favorisent la fermentation alcoolique. »

Expériences de Berthonval

Il y a lieu de rapporter ici les premières expériences faites à Berthonval.

Nous avons en effet expérimenté ce moyen de conservation sur les betteraves gelées provenant de la récolte de 1902. Les racines appartenant à la variété ovoïde des Barres avaient la composition suivante au moment de l'ensilage :

Eau	86,50
Matière sèche	13,50

La matière sèche se décomposait ainsi :

Matières azotées totales	0,9
Sucre	8,7
Cellulose	0,8
Cendres	1,3
Matières diverses	1,8

Les betteraves, divisées en cossettes, furent accumulées dans deux silos en mélange avec de menues pailles; la conservation se poursuivit sans altération depuis le commencement de décembre jusqu'au 15 mars; la matière ensilée fut employée à l'alimentation des vaches laitières.

Voici les résultats de l'ensilage :

Premier silo

Poids des betteraves ensilées.	34 000 kilogr.
Poids des menues pailles ensilées.	1 200 —
Total . . .	35 200 —
Poids du mélange utilisé après trois semaines . .	28 000 —

d'où une perte de 7 200 kilogr., soit 20 °/₀.

Deuxième silo

Poids des betteraves ensilées.	27 500 kilogr.
Poids des menues pailles ensilées	1 000 —
Total . . .	28 500 —
Poids du mélange utilisé après deux mois et demi.	14 930 —

d'où une perte de 13 570 kilogr., soit 47 °/₀.

Pour ce dernier silo, l'analyse d'un échantillon, après deux mois et demi d'ensilage, a donné :

Matières azotées	1,6
Sucre	0,9
Matière sèche totale.	22,0

dont il faut déduire 8 °/₀ de cendres terreuses, soit :

Matière sèche organique. . .	14,0

contre 12,2 à l'origine.

On voit que les pertes sont énormes : la matière azotée se retrouve à peu près, mais le sucre a disparu dans une très forte proportion. Le produit conservé est peut-être un peu meilleur parce qu'il renferme plus d'azote, mais les pertes de poids brut indiquent qu'il ne faut recourir à ce mode de conservation que dans le cas d'absolue nécessité. En trois semaines, en effet, la perte a atteint 20 °/₀ et au delà de deux mois elle s'est élevée à 47 °/₀.

En 1903-1904, nous avons repris ces expériences sur une plus

grande échelle. Nous avons expérimenté les betteraves idéale de kirsch et les betteraves collet rose dans plusieurs silos, en disposant, dans chacun d'eux, la même quantité de betteraves divisées en cossettes.

Nous avons fait entrer en comparaison les différentes conditions d'ensilage énumérées dans le tableau ci-après.

Ce tableau représente les variations du poids brut et les pertes de matière sèche que nous avons constatées après quatre mois d'ensilage.

Pertes de poids brut et de matière sèche

Afin de contrôler exactement les pertes et pour assurer un échantillon d'analyse aussi moyen et aussi homogène que possible, nous avions placé au milieu de chacun des silos un sac contenant 20 kilogr. de la matière ensilée.

Un échantillon conforme au contenu de ce sac fut prélevé au moment de l'analyse.

En raison du grand nombre de cas envisagés dans ces essais, nous avons été conduits à n'établir que des silos de petites dimensions, contenant seulement 4 000 kilogr. de betteraves.

Ils furent défaits en février 1904. Le sac échantillon pesé à nouveau permit d'évaluer les pertes de poids brut dans le cœur même de la masse, sans tenir compte des déchets existant sur les parois, déchets ordinairement d'autant plus importants que les silos sont plus petits.

La matière retrouvée dans ce sac servit aux analyses effectuées pour étudier les effets de la conservation.

Comme vérification, la perte subie par la masse totale ensilée fut également recherchée, elle fut dans tous les cas un peu supérieure à celle constatée par la pesée du sac échantillon, parce que sur les bords il y a toujours une altération plus marquée.

Comme toutes les déterminations qui sont rapportées ici furent opérées sur l'échantillon conservé au milieu du silo, et comme dans les parties environnant le sac, ainsi que dans le sac lui-même, les produits retrouvés présentaient partout les caractères normaux d'une

Détermination des pertes de poids brut et de matière sèche.

DÉSIGNATION DES SILOS	POIDS des matières ensilées	POIDS des matières retrouvées	PERTE totale	PERTE répartie en totalité sur la betterave	MATIÈRE SÈCHE pour cent fournie par la paille	MATIÈRE SÈCHE pour cent fournie par la pulpe	MATIÈRE SÈCHE ensilée	MATIÈRE SÈCHE pour cent de matières retrouvées	MATIÈRE SÈCHE restant pour cent de matières ensilées	MATIÈRE SÈCHE Perte de matière sèche répartie sur le mélange total	MATIÈRE SÈCHE Perte de matière sèche répartie en totalité sur les betteraves
Betterave idéale de kirsch.											
I. Betteraves entières.	1 000	1 002	+ 0,2	»	»	»	9,5	9,00	9,02	6,0	»
II. Betteraves en cossettes seules.	1 000	475	— 52,5	»	»	»	9,5	11,25	5,34	43,8	»
III. En cossettes avec 36 kilogr. pour mille de menues pailles.	1 036	570	— 45,0	50,5	3,0	9,2	12,2	12,40	6,82	44,1	58,5
Betterave blanche à collet rose.											
I. Betteraves entières.	1 000	1 000	»	»	»	»	13,3	12,1	12,10	9,0	»
II. Betteraves en cossettes seules.	1 000	820	18	»	»	»	13,3	10,5	8,61	35,3	»
III. En cossettes avec 36 kilogr. pour mille de menues pailles.	1 036	777	25	30,5	3,0	12,8	15,8	12,6	9,45	40,2	49,6
IV. En cossettes avec 80 kilogr. pour mille de menues pailles.	1 080	810	25	32,5	6,2	12,2	18,4	15,9	11,93	35,1	53,0

NOTA. — Le signe + indique un gain.

conservation régulière, on peut être assuré que les pertes que nous avons constatées, bien que considérables, ne sont nullement exagérées.

Il ne faut pas croire par exemple que si les silos avaient été plus volumineux, les pertes eussent été moindres, bien au contraire. Nous le prouverons pour ce qui concerne les pulpes, lesquelles nous ont donné dans le grand silo de la ferme des pertes plus élevées que dans nos petits silos d'expériences.

Les résultats du tableau précédent montrent que la matière sèche et par conséquent les substances nutritives des betteraves divisées en cossettes, subissent une perte très grande. Celle-ci augmente avec le degré d'humidité, elle est plus forte avec l'idéale de kirsch qu'avec la collet rose. Cela tient à ce que la première renferme un jus plus aqueux et plus abondant qui, en s'infiltrant à travers le silo, va se perdre dans le sol.

Emploi des menues pailles

Pour retenir ce jus, on est conduit à additionner les cossettes de menues pailles. On peut penser que ces résidus absorbent le liquide qui tend à s'échapper du silo, cela a lieu, en effet, puisque les pertes de poids se restreignent : 36 kilogr. de menue paille, ajoutés à la betterave kirsch, très juteuse, ont réduit la perte à 45 °/₀ au lieu de 52,50 °/₀. Pour la collet rose, beaucoup plus riche en matière sèche, les menues pailles étaient moins nécessaires puisqu'elles ont donné lieu à une diminution du poids un peu plus grande (25 °/₀ au lieu de 18 °/₀). En tout cas, la perte ne paraissait pas encore très élevée ; nous disons : ne paraît pas, car, en réalité, la perte de poids brut cache la perte en matière sèche, la seule qui soit importante au point de vue pratique ; lorsqu'on détermine celle-ci, on est mieux renseigné sur le rôle des menues pailles introduites dans la masse ensilée.

Les chiffres du tableau précédent montrent que, dans n'importe quelle condition, la conservation s'est traduite par une perte, après quatre mois, de plus du tiers de la matière sèche pour les betteraves hachées. Que faut-il penser de cette idée que le hachage des bette-

raves permet d'en faire durer la conservation jusqu'aux premiers mois de l'été ? Si l'on admet que l'on ajoute aux betteraves assez de menues pailles pour absorber tout le jus, la perte de matière sèche doit surtout avoir lieu sous forme de composés gazeux que toutes les menues pailles ne sauraient retenir. Ces gaz sont le résultat des fermentations.

Or les silos ont été défaits en février ; combien de matière sèche aurions-nous retrouvée si on avait prolongé l'ensilage jusqu'en mai ou juin, la fermentation se trouvant alors favorisée par une température plus élevée ?

Quelle que soit par conséquent la supériorité de la betterave ensilée en cossettes (supériorité qu'il s'agit de déterminer), elle ne peut suffire pour compenser les pertes qui se produisent pendant la conservation, et il est bien préférable d'ensiler les racines entières.

Il est vraisemblable, et d'ailleurs nous le montrerons plus loin pour les silos de pulpe, que la menue paille ne subit pas de modification sensible dans le mélange où on l'incorpore ; sa matière sèche ne s'altère pas visiblement ; on la retrouve intacte, sans transformation apparente.

Ceci étant admis, la betterave seule s'est modifiée par la fermentation, et c'est elle qui a dû supporter toutes les pertes en matière sèche. Ayant analysé au début de l'expérience la menue paille qui devait être incorporée aux betteraves, il nous était facile de calculer, dans la matière sèche de l'ensilage, la proportion pour cent de celle fournie seulement par la betterave et dès lors d'en déduire la portion véritable que les betteraves avaient perdue.

Les résultats figurent dans le tableau ci-après ; ils démontrent que les menues pailles, au lieu de diminuer la perte en matière sèche, l'augmentent. Elle est même d'autant plus élevée que l'on a incorporé plus de ces résidus dans le mélange.

L'influence nuisible des matières absorbantes ajoutées aux betteraves ne peut s'expliquer que par la porosité qu'elles donnent à la masse ensilée, ce qui a pour effet d'activer son oxydation et sa décomposition.

On comprend facilement pourquoi le cultivateur est amené à additionner de menues pailles ses pulpes ou ses cossettes ; la perte totale

Composition de la matière sèche.

ÉLÉMENTS DOSÉS	BETTERAVE IDÉALE DE KIRSCH						BETTERAVE BLANCHE A SUCRE A COLLET ROSE							
	Betteraves entières		En cossettes				Betteraves entières		En cossettes					
			Seules		Avec 36 kilogr. °/oo de menue paille				Seules		Avec 36 kilogr. °/oo de menue paille.		Avec 80 kilogr. °/oo de menue paille.	
	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage
Matières azotées.	8,00	8,10	8,00	7,40	7,90	7,90	7,30	7,20	7 30	10,90	7,40	9,20	7,90	8,60
Matières grasses.	0,80	1,60	0,80	2,30	1,00	1,80	0,70	0,80	0,70	1,20	0.90	1,80	0,90	2.50
Hydrates de carbone en glucose	55,50	51,60	55,50	23,80	48,70	32,90	67,50	62,90	67,50	28,50	59,00	27,00	55,20	29,30
Autres extractifs non azotés	11,60	11,90	11,60	32,10	11,80	10,00	3,90	4,30	3,90	29,60	5,80	21,60	6,50	18,20
Fibre ou cellulose.	9,00	10,60	9,00	11,10	13,50	20,90	7,10	9,70	7,10	10,70	11,50	16,70	14,80	18,70
Matières minérales	15,10	16,20	15,10	23,00	17.10	26,50	13,50	15,10	13,50	19,10	15,10	23,70	14,70	22,70
TOTAL.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Azote organique total . . .	1,280	1,290	1,280	1,190	1,260	1,260	1,160	1,150	1,160	1,740	1,190	1,470	1,260	1,370
Azote alimentaire.	1,030	0,630	1,030	0,790	0,980	1,050	0,600	0,630	0,600	0,810	0,670	1,030	0,690	0,860
Azote non alimentaire. . .	0,250	0,660	0,250	0,400	0,280	0,210	0,560	0,520	0,560	0,930	0,520	0,440	0,570	0,510
Azote nitrique	0,422	0,385	0,122	0,170	0,301	Traces	0,292	0,201	0,292	0,128	0,229	0,101	0,201	0,143

se trouve ainsi fortement diminuée. La masse ensilée, par suite de l'emploi de menues pailles ou de débris analogues, est plus grande. Comme le cultivateur ne fait pas de dosages, il s'en rapporte à l'observation directe. Il ne se rend pas compte que la matière retirée du silo est beaucoup moins riche en matière sèche. Jusqu'ici, presque tout le monde s'y est trompé, et nous-mêmes, nous n'avons pas été peu surpris de voir que, loin d'être utiles à la conservation, les menues pailles lui étaient défavorables.

Composition comparée des produits avant et après l'ensilage

Tous les échantillons de betteraves hachées, mélangées ou non de menue paille, ont été analysés. Nous avons dosé l'acidité sur la matière humide naturelle et toutes les autres déterminations ont été faites sur la matière sèche préparée par dessiccation à l'étuve.

Connaissant la matière sèche trouvée pour chacun des cas, nous avons rétabli par le calcul la composition de la substance naturelle non desséchée. Le tableau ci-après résume les résultats.

Pendant leur séjour au silo, les cossettes de betteraves kirsch n'ont pas gagné beaucoup en qualité ; la proportion plus élevée de matière sèche renfermée dans la substance retrouvée concerne surtout les matières indéterminées, la faible augmentation de l'azote total étant contre-balancée par la diminution de la protéine.

Au contraire et quoique la digestibilité des éléments nutritifs ait pu augmenter, il y a plutôt une diminution dans la qualité de l'aliment en raison de la perte des sucres.

Nous avons déjà dit d'ailleurs que la digestibilité des betteraves fraiches étant elle-même très élevée, toute amélioration à ce point de vue doit être considérée comme de faible importance.

Rien n'indique non plus que les cossettes de betteraves roses ensilées seules se soient améliorées ; il y a bien comme pour les betteraves de kirsch disparition de la moitié des nitrates et une légère augmentation de l'azote alimentaire ; mais la teneur en matière sèche est fortement diminuée et une grande partie des sucres a disparu.

échanges nutritifs de l'économie animale, sont enchaînés les uns aux autres. De l'obtention des uns dépend l'obtention des autres. Si un aliment fournit en fin de compte beaucoup d'énergie sensible (chaleur, travail mécanique), cette énergie ne pouvant être libérée que par des réactions intra-organiques, il en résulte que l'on verra apparaître en grande quantité les résidus excrémentiels, auxquels aboutit la destruction ou la transformation de la matière qui provoque la libération de l'énergie. Par contre, les produits matériels utiles (viande, graisse, lait) seront fort minimes. Ces relations étroites entre les échanges matériels ou dynamiques de l'organisme étant admises, puisque le sucre, de même que tous les hydrocarbonés en général, se révèle surtout comme un agent producteur d'énergie, cherchons à nous rendre compte de la valeur exacte du potentiel contenu dans cet aliment. C'est cette valeur que nous ferons figurer dans le premier membre de notre équation. Nous évaluerons ensuite successivement et en prenant la même unité de mesure dynamique les différents termes du second membre, dont la somme évidemment sera égale au potentiel total trouvé dans cet aliment.

Lorsque l'on reconnut l'utilité de comparer entre elles les quantités d'énergie contenues dans les divers composés organiques, il fallut recourir aux conventions. Malgré son existence et son indestructibilité indéniables, l'énergie n'était guère susceptible, en effet, d'être exprimée numériquement. Ce qui parut alors le plus simple, ce fut de prendre comme mesure du potentiel d'une substance, celle-ci étant naturellement d'une pureté chimique absolue, la chaleur dégagée par sa combustion intégrale. La méthode était rationnelle. Si l'on brûle totalement et instantanément du sucre, par exemple, en présence d'un grand excès d'oxygène dans un de ces calorimètres spéciaux que l'on appelle une bombe calorimétrique, les produits ultimes de cette oxydation, rendue aussi complète que possible, sont forcément saturés d'oxygène ; et l'on ne retrouve dans l'appareil que des corps inertes, sans affinités, réfractaires par conséquent à toute réaction et incapables de fournir dans la suite de l'énergie. Le principe de l'équivalence des transformations dynamiques permet de supposer que tout le potentiel du sucre s'est alors converti en chaleur. Il ne reste plus qu'à déterminer directement cette dernière au

moyen des méthodes propres à la calorimétrie. C'est ainsi que l'on a trouvé les valeurs suivantes aux chaleurs de combustion des principes fondamentaux dont se composent les aliments et les animaux. Le pouvoir calorifique y est rapporté, par le calcul, à 1 gramme des principes eux-mêmes, l'unité de mesure étant la calorie, c'est-à-dire la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré un kilogramme d'eau :

	D'APRÈS BERTHELOT[1].	D'APRÈS RUBNER.
	Calories.	Calories.
Moyenne pour les corps gras . .	9,5	9,3
— hydrocarbonés.	4,2	4,1
— albuminoïdes .	5,7	4,1

Les chiffres de Berthelot et de Rubner concordent, on le voit, sauf pour les albuminoïdes, ce qui provient non pas de la détermination calorimétrique elle-même, mais des différents modes de calcul adoptés par ces auteurs. Rubner fixe à $4^{cal},1$ au lieu de $5^{cal},7$, chiffre proposé par Berthelot, la valeur calorimétrique de 1 gramme d'albumine, afin de se rapprocher autant que possible de ce qui se passe dans l'organisme. La combustion de la matière albuminoïde n'y est en effet jamais complète ; elle laisse comme résidus, en plus de l'eau et de l'acide carbonique, une foule de produits azotés, non saturés d'oxygène, dont l'urée est le plus important. Le chiffre de Rubner, plus conforme à la réalité des faits, est égal en somme à la valeur calorifique totale de la matière albuminoïde diminuée de celle des produits de transformation physiologique de cette albumine susceptibles, par une oxydation plus avancée, de fournir encore de la chaleur. Le chiffre 5,7 de Berthelot suppose au contraire que l'oxydation est totale et qu'elle ne laisse aucun résidu analogue, par exemple, à l'urée. Si l'on voulait modifier, comme l'a fait Rubner, les données de Berthelot relatives à l'albumine, il faudrait les diminuer de plus d'un sixième. Quant aux matières grasses et hydrocarbonées, elles s'oxydent au maximum dans l'organisme comme dans le calorimètre et ne donnent uniquement, dans l'un comme dans l'autre, que de l'eau

1. Les chiffres de Berthelot supposent que les principes, avant d'être brûlés, ont été privés d'eau par une dessiccation à 120°, que la combustion en est totale et que l'acide carbonique qui en résulte reste à l'état gazeux.

Détermination des pertes pour cent de chaque partie constitutive de la betterave constatées après quatre mois d'ensilage

ÉLÉMENTS DOSÉS	PERTES pour cent relevées pour les betteraves entieres		COSSETTES Kirsch			COSSETTES collet rose			COSSETTES KIRSCH avec 36 kilogr. de menue paille pour mille				COSSETTES COLLET ROSE avec 36 kilogr. de menue paille pour mille				COSSETTES COLLET ROSE avec 80 kilogr. de menue paille pour mille			
											Perte pour cent répartie				Perte pour cent répartie				Perte pour cent répartie	
	Kirsch	Collet rose	à l'ensilage	après l'ensilage	perte pour cent	à l'ensilage	après l'ensilage	perte pour cent	à l'ensilage	après l'ensilage	sur la totalité	sur la betterave seulement	à l'ensilage	après l'ensilage	sur la totalité	sur la betterave seulement	à l'ensilage	après l'ensilage	sur la totalité	sur la betterave seulement
Matière sèche	6,0	9,0	9,5	5,34	43,8	13,3	8,61	35,3	12,2	6,2	44,1	58,5	15,8	9,45	40,2	49,6	18,4	11,93	35,1	53,0
Matières azotées totales	5,3	9,4	0,76	0,40	47,4	0,96	0,93	3,1	0,96	0,51	43,75	56,8	1,18	0,87	26,3	33,3	1,45	1,02	29,6	48,9
Azote alimentaire . .	41,8	5,0	0,098	0,042	57,1	0,080	0,070	12,5	0,120	0,072	40,0	50,5	0,106	0,098	7,5	10,4	0,127	0,103	18,9	32,9
Azote non alimentaire.	»	»	0,024	0,021	»	0,074	0,080	»	0,034	0,014	»	»	0,082	0,011	»	»	0,105	0,061	»	»
Azote nitrique. . . .	»	»	0,040	0,009	»	0,039	0,011	»	0,037	traces	»	»	0,036	0,010	»	»	0,037	0,017	»	»
Matières grasses. . .	»	»	0,08	0,12	»	0,09	0,11	»	0,12	0,12	»	»	0,14	0,17	»	»	0,17	0,30	»	»
Matières minérales. .	»	»	1,44	1,23	11,6	1,80	1,65	8,3	2,09	1,80	13,9	»	2,43	2,24	7,8	»	2,70	2,71	»	»
Hydrates de carbone en glucose.	11,6	15,3	5,26	1,28	75,7	8,98	2,15	72,7	5,94	2,21	62,3	72,5	9,32	2,55	72.6	78,4	10,16	3,50	65,6	80,8
Cellulose	12,9	24,5	0,85	0,61	28,2	0,94	0,92	2,1	1,65	1,42	13,9	27,7	1,82	1,58	13,2	26,4	2,72	2,23	18,0	56,3

Dans les cossettes ensilées seules, les pertes sont moindres, mais elles sont encore bien supérieures à celles qui se produisent dans l'ensilage des betteraves entières.

Nous ne pensons donc pas que l'ensilage des betteraves hachées soit appelé à une grande extension. A moins qu'on ne veuille réaliser une conservation très prolongée, ce dont on ne voit pas bien l'utilité, il est bien préférable de s'en tenir à la méthode ordinaire d'ensilage des racines entières.

Il y a lieu également de faire une exception pour le cas où la récolte est compromise par les gelées. La mise en silo des racines, préalablement divisées en cossettes, est alors le seul moyen de conservation auquel on puisse avoir recours, car, lorsqu'elles sont ainsi altérées, elles pourrissent dans les silos et déterminent la putréfaction de celles qui sont saines. La matière ensilée dans ces conditions doit être consommée aussi rapidement que possible, puisque plus on attend, plus les pertes de sucre et de matière sèche sont considérables.

II. — CONSERVATION DES PULPES

La conservation des pulpes présente une réelle importance, en raison de la grande quantité de ces résidus industriels que la sucrerie livre chaque année à l'agriculture.

Les pulpes proviennent du traitement des cossettes de betterave dans les diffuseurs en vue de l'extraction du sucre. Étant donné que la diffusion se fait à la température d'au moins 75°, beaucoup de matières organiques se trouvent coagulées, de sorte que ces résidus d'épuisement renferment encore, à part le sucre, à peu près tous les éléments nutritifs de la betterave elle-même.

Mais les cossettes sortant des diffuseurs sont gorgées d'eau : elles en renferment environ 94 à 95 °/₀. Sous cette forme, elles ne seraient pas transportables, et elles constitueraient, d'ailleurs, un aliment de bien médiocre qualité si on n'en n'exprimait pas par pression une grande quantité du liquide qui les imprègne ; la pulpe ainsi pressée contient encore environ 90 °/₀ d'humidité.

Composition de la pulpe

M. Pagnoul a publié, en 1883, une étude très documentée sur les pulpes de betterave obtenues par pression ou par diffusion. Ce savant constatait, alors, que la matière azotée que l'on trouve dans la pulpe de diffusion est beaucoup plus nutritive que celle des pulpes de presse hydraulique, attendu que dans les premières les traitements par l'eau chaude ont dû coaguler les matières albumineuses et enlever la plus grande partie de l'azote soluble existant sous forme nitrique ou ammoniacale.

Déjà, à cette époque, M. Pagnoul faisait remarquer que, pour déterminer exactement la valeur nutritive, et par suite la valeur commerciale des pulpes, il était nécessaire de bien connaître leur richesse en matières alimentaires et de tenir compte, en outre, de la proportion d'eau qui affaiblit les propriétés nutritives et augmente les frais de transport. Pour éviter la complication d'une analyse détaillée, il proposait de prendre pour base le poids de matière sèche totale.

Au moment de l'ensilage, les pulpes renferment encore une petite quantité de sucre. Ce sucre est susceptible de jouer un rôle comme substance alimentaire, il serait juste d'en tenir compte si la pulpe n'était employée qu'à l'état frais, mais on n'utilise la pulpe généralement qu'après un séjour plus ou moins prolongé en silo, alors que le sucre a entièrement disparu. L'alcool qui résulte de la fermentation du sucre se perd lui-même ou se transforme en acide acétique, lequel d'ailleurs ne paraît pas provenir seulement de la fermentation du sucre, car il existe en quantité à peu près égale dans les pulpes de presse hydraulique et dans celle de diffusion.

La composition des pulpes est assez variable, surtout en ce qui concerne la matière sèche. Les fabricants de sucre auraient tout intérêt à vendre des pulpes très aqueuses si la culture voulait les accepter. On a parlé de fixer une limite de 12 °/₀ de matière sèche, au-dessous de laquelle les pulpes ne seraient plus considérées comme marchandes ; ce chiffre est trop fort, il faut envisager que dans certaines fabriques, à cause des défectuosités d'installation, on est obligé

d'élever la température de la diffusion jusqu'à 85°, quelquefois 88°, pour arriver à un épuisement convenable des cossettes. Or, celles-ci, étant très cuites, se pressent mal et renferment toujours une proportion d'eau relativement considérable.

Méthodes d'ensilage

Ordinairement, c'est au fur et à mesure des livraisons de betteraves que les cultivateurs enlèvent les pulpes de la fabrique. Celles-ci sont alors mises en silo pour y être conservées, afin de servir à l'alimentation du bétail pendant l'hiver ; une faible quantité seulement est consommée au début de la campagne sucrière.

Les silos se présentent soit sous forme de tranchées plus ou moins profondes creusées directement dans le sol, soit sous forme de constructions en maçonnerie entourées de murs de hauteur variable. D'autres silos, beaucoup plus simples, sont confectionnés en accumulant en tas, sur la terre nue, la pulpe, qui est alors piétinée et disposée en dos d'âne. Dans tous les cas, un silo doit être recouvert de terre bien tassée, pour éviter l'accès de l'air, et présenter une pente suffisante pour assurer l'écoulement de l'eau que la pression chasse de la pulpe. Cette dernière entre en fermentation très active, au bout de quelques jours son volume diminue, les cellules des cossettes se désagrègent peu à peu, toute la masse se transforme en une pâte homogène et très blanche, si la conservation s'est faite dans de bonnes conditions.

Expériences de Gay à Grignon

Les pulpes ensilées subissent des pertes plus ou moins grandes. On les évalue approximativement :

	POIDS BRUT
Après un mois	de 15 à 20 °/°
— deux mois	20 à 25
— trois mois	25 à 30
— quatre mois.	30 à 35
— cinq mois	35 à 40

Ces pertes paraissent s'expliquer à première vue par la quantité d'eau considérable qui sort des silos, et l'on est amené à supposer que, si l'eau disparaît ainsi de la pulpe, celle-ci doit s'enrichir proportionnellement en matière sèche, et son prix de revient final ne doit que fort peu varier. Ce serait une erreur de penser ainsi, car l'analyse montre que, pendant l'ensilage, les pulpes subissent des pertes en principes immédiats qui sont loin d'être négligeables. Voici les résultats constatés par Gay, à Grignon, il y a quelques années :

	EAU	MATIÈRE sèche	PROTÉINE	EXTRAIT éthéré	EXTRACTIFS non azotés	CELLULOSE	CENDRES
Pulpe fraîche.	91,12	8,88	0,77	0,10	5,70	1,32	0,99
Pulpe ensilée.	91,92	8,08	0.83	0,15	4,95	1,63	0,52

Tandis que la pulpe fraîche accusait 8,88 °/₀ de matière sèche, la pulpe ensilée, bien qu'ayant déjà perdu une grande partie de son eau, n'en renfermait plus que 8,08.

« Voilà assurément, dit Gay, un résultat auquel on était bien loin de s'attendre et qui semblerait bizarre si on ne réfléchissait pas aux modifications profondes subies par la pulpe pendant la fermentation. Cette fermentation transforme en effet les hydrates de carbone en acide carbonique et en alcool, elle rend soluble en outre une grande partie des extractifs et des matières albuminoïdes ; si on songe enfin aux dégagements d'acides organiques volatils et de gaz qui accompagnent toujours toute fermentation, on ne sera plus étonné de voir dans quelle proportion la matière sèche, et par conséquent les principes immédiats qui la constituent, diminuent dans la pulpe ensilée. Il était intéressant de déterminer la quantité de ces principes ainsi disparus ; les résultats sont consignés dans le tableau ci-après.

« Comme on le voit, tous les principes immédiats n'ont pas eu à subir la même influence de la fermentation, ce sont les matières minérales pour lesquelles la perte a été la plus élevée : 64 °/₀ de leur poids total ; puis viennent, par ordre, les extractifs non azotés avec

42 %, la protéine avec 28 %, puis la cellulose avec 17 %, enfin l'extractif éthéré avec 5 % seulement. »

	EAU	MATIÈRE sèche	PROTÉINE	EXTRAIT éthéré	EXTRACTIFS non azotés	CELLULOSE	CENDRES
11 710 kilogr. de pulpe fraîche renferment. . . . . kg.	10 670	1 079	90,1	12,3	666	154,5	115,9
7 805 kilogr. de pulpe ensilée contiennent. . . . kg.	7 174	630	64,8	11,7	386	127,2	40,6
Pertes dues à l'ensilage. kg.	3 496	449	25,3	0,6	280	27,3	75,3
Pertes . . . . . %	33	3	28	5	42	17	64

Et Gay ajoute :

« C'est pour l'agriculteur une grande perte, à laquelle, étant donnée la connaissance de ces faits, il y aurait peut-être lieu de remédier dans la mesure du possible. Par quel moyen pourrait-on arriver à ce résultat? Nous venons de voir qu'une partie des principes immédiats, après leur transformation pendant la fermentation, s'étaient dégagés dans l'atmosphère sous forme de produits gazeux. C'est là une perte contre laquelle nous ne pouvons absolument rien et qu'il est impossible d'éviter ; mais peut-être n'est-ce pas la plus considérable. L'écoulement constant de l'eau qui s'échappe de la pulpe constitue, croyons-nous, la principale cause de la déperdition, or il existe un moyen fort simple de l'éviter.

« On sait qu'il existe dans les fermes des sous-produits fournis par le battage des céréales, que l'on nomme plus communément menues pailles, glumelles, balles, etc. Ces sous-produits n'ont aucune valeur commerciale et sont employés dans l'alimentation du bétail, qui peut les utiliser mêlés à d'autres aliments.

« Si on mêlait une quantité suffisante à la pulpe encore fraîche, aussitôt son arrivée à la ferme et lors de la mise en silo, ces menues pailles s'empareraient d'une grande quantité de l'eau mise en liberté, ce qui diminuerait dans une large mesure la perte que nous avons constatée. On peut procéder, dans ce cas, en disposant la pulpe et les

balles par lits alternatifs et en ayant soin de commencer par ces dernières et d'en étaler sur le sol une couche assez épaisse.

« C'est là une méthode que nous avons vu employer dans quelques cas et qui a l'avantage de n'exiger aucun frais supplémentaire ; aussi ne saurions-nous trop la recommander, parce que l'agriculteur y trouvera un très grand profit. Ce mélange fait dans des proportions convenables, environ 10 kilogr. de menue paille pour 90 kilogr. de pulpes, présente en outre un avantage considérable sur lequel nous voulons appeler l'attention .

« Les balles, en effet, le foin grossier ou la paille hachée, ne possèdent qu'une valeur nutritive très faible à leur état normal, non pas par suite d'une grande pauvreté en principes immédiats, mais parce que ces principes immédiats sont englobés dans une matière dure, coriace, riche en cellulose, qui se laisse très difficilement attaquer par les sucs digestifs.

« Sous l'action physique du mélange avec la pulpe et de la fermentation qui se produit dans la masse, la cellulose se ramollit, laisse plus facilement attaquer les principes immédiats nutritifs par l'appareil digestif des animaux, si bien que le coefficient de digestibilité de ces matières, de valeur primitive faible, augmente du simple au double. C'est là un résultat appréciable, qui ne doit pas être dédaigné, et qui ne peut qu'encourager l'agriculteur de mettre dorénavant en pratique la méthode que nous venons de lui conseiller. »

Le travail de Gay est extrêmement intéressant et, si nous en avons reproduit textuellement les conclusions, c'est parce qu'elles sont conformes à l'opinion généralement admise par les agriculteurs pour la conservation des pulpes ; c'est celle que nous professions avant d'entreprendre nos essais. On verra, par les résultats que nous avons trouvés, que nous avons dû à ce sujet modifier cette manière de voir.

Expériences de Berthonval. Disposition des recherches

Parallèlement à l'étude de la conservation des betteraves, nous avions en vue en effet celle de la conservation des pulpes, et les expériences ont été menées de front avec les premières.

Nos premières recherches, faites en 1903-1904, ont porté sur de

Détermination de la perte de poids brut et de la perte en matière sèche.

DÉSIGNATION DES SILOS	DURÉE de l'ensilage	QUANTITÉ de matière ensilée	POIDS de matière retrouvée	PERTE pour cent de poids brut	MATIÈRE SÈCHE POUR CENT			PERTE POUR CENT de la matière sèche	
					ensilée	de matière retrouvée	restant sur 100 kilog. de matière ensilée	sur la masse ensilée	répartie sur la pulpe seulement
		kilogr.	kilogr.						
1903-1904. Pulpes ensilées seules	4 mois (oct.-févr.).	1 000	855	19,5	10,2	9,8	7,89	22,6	22,6
1904-1905. Pulpes ensilées seules	2 mois (nov.-janv.).	1 000	760	24 »	8,6	9,3	7,07	17,8	17,8
1904-1905. Pulpes ensilées seules	4 mois (nov.-mars).	1 000	830	17 »	8,6	8,5	7,06	17,9	17,9
1904-1905. Pulpes ensilées seules	6 mois (nov.-mai).	1 000	625	37,5	8,6	11,0	6,87	20,0	20,0
1904-1905. Pulpes ensilées seules	8 mois (nov.-juil.).	1 000	575	42,5	8,6	10,3	5,92	31,2	31,2
1903-1904. Pulpes stratifiées avec des menues pailles	4 mois (oct.-févr.).	1 000	380	62 »	9,0	14,9	5,66	37,1	37,1
1903-1904. Pulpes additionnées de 115 kilogr. de débris de fenil	4 mois (oct.-févr.)	1 115	770	31 »	17,5	21,1	14,56	16,8	33,9
1903-1904. Pulpes additionnées de 61 kilogr. de menue paille	4 mois (oct.-févr.).	1 061	840	20,5	14,5	15,3	12,17	16,6	25,1
1904-1905. Pulpes additionnées de 100 kilogr. de menue paille	4 mois (oct.-févr.).	1 100	630	42,5	17,1	17,1	9,83	35,3	68,8

la pulpe contenue dans quatre silos différents. Le premier, d'assez grandes dimensions, contenait toute la pulpe achetée pour l'alimentation du bétail de la ferme de Berthonval. Nous avions disposé au milieu de la masse un sac-échantillon de 50 kilogr. ; toute cette pulpe était stratifiée avec de la menue paille. Les trois autres étaient de plus faibles dimensions et renfermaient : le premier de la pulpe seule, le second de la pulpe en mélange intime avec 61 °/₀₀ de menue paille, le troisième de la pulpe mélangée à des débris de foin dont la proportion en poids était de 115 °/₀₀.

Au moment de l'ensilage, toute la pulpe fut tassée et piétinée aussi fortement que possible. Pendant le remplissage des sacs d'échantillon, nous avons prélevé la quantité suffisante de matière pour effectuer les analyses, afin d'en connaître la composition à l'origine.

Cet ensilage dura quatre mois. En fin février, les silos furent défaits et les sacs, pesés à nouveau pour en déduire la perte de poids brut, fournirent des échantillons destinés à une seconde analyse.

De nouveaux essais, dont les résultats étaient destinés à compléter nos premières observations, furent entrepris en 1904-1905, sur cinq silos semblables séparés. Les quatre premiers renfermaient de la pulpe seule qui devait être enlevée après deux, quatre, six et huit mois de conservation, le cinquième de la pulpe mélangée de menue paille dans la proportion de 10 °/₀ en poids.

Les échantillons furent toujours obtenus de la même manière, en disposant un sac contenant 20 kilogr. de substance parmi la masse ensilée. Tous les silos après un tassement régulier furent recouverts d'une couche de terre de 30 centimètres d'épaisseur environ.

Des analyses furent également faites au début pour connaître la composition de la pulpe à l'origine ainsi que celle de la menue paille. Rien d'anormal ne s'est produit pendant la conservation.

Nous indiquons dans le tableau ci-dessus les résultats obtenus en déterminant les pertes de poids brut et la perte en matière sèche.

Pertes de poids brut et de matière sèche

On peut constater que la perte de poids brut n'est pas toujours en rapport avec la perte réelle des substances nutritives portant sur la

matière sèche. Ces pertes sont très variables, elles doivent dépendre d'un certain nombre de causes différentes, comme le degré d'humidité de la pulpe, la température à laquelle elle a été traitée dans la batterie de diffusion, le temps depuis lequel elle est sortie des diffuseurs, la température extérieure, la fréquence et l'abondance des pluies. La nature des fermentations spontanées doit aussi avoir une influence prépondérante.

Pour les silos défaits cette année, par exemple, nous trouvons, au bout de deux mois, une perte brute de 25 °/₀, tandis qu'elle n'est plus que de 17 °/₀ après quatre mois. Cela tient peut-être à cette coïncidence que pendant les deux premiers mois qui ont suivi l'ensilage, le temps est resté relativement sec, tandis que dans la première quinzaine de mars, il s'est produit quelques pluies assez fortes, particulièrement deux ou trois jours avant l'ouverture du silo. Les pulpes ont pu reprendre ainsi une certaine quantité d'eau, la pluie s'étant infiltrée jusqu'à elles, à travers la couche de terre qui les recouvrait. Leur faible teneur en matière sèche rend vraisemblable cette manière de voir.

Au bout de deux mois, la perte brute est déjà de 20 °/₀ du poids total de l'ensilage ; elle peut rester voisine de ce chiffre jusqu'au quatrième mois, mais, pour une durée plus longue, après une période de temps sans pluie bien importante, nous avons trouvé une diminution beaucoup plus grande dans le silo. Elle atteignait 37,5 °/₀ du poids brut après six mois et 42,5 après huit mois.

Si on envisage les pertes de matière sèche, qui sont du reste beaucoup plus importantes à considérer que la perte de poids brut, on constate qu'elles n'ont pas varié énormément. Après deux mois, comme après quatre et six mois, elles sont voisines de 20 °/₀. Pendant les mois d'été, les fermentations sont favorisées par la température et les pertes s'élèvent. Nous avons constaté après huit mois une perte de 31 °/₀ de matière sèche ; elle s'est donc accrue de plus de 10 °/₀ dans les deux derniers mois. Ces chiffres sont inférieurs à ceux de Gay, qui a constaté 38 °/₀ de perte en matière sèche dans un silo contenant plus de 10 000 kilogr. de pulpes.

Dans le grand silo de la ferme, où la masse ensilée était importante (62 000 kilogr.), nous n'avons plus retrouvé, sur un échan-

tillon de 50 kilogr., que 19 kilogr., ce qui fait une diminution de poids brut de 62 °/₀ dans l'espace de quatre mois.

Cette pulpe y était stratifiée avec de menues pailles : on comprend qu'une partie de l'eau gorgeant la pulpe a dû la quitter pour passer dans la menue paille. La meilleure preuve est fournie par ce fait que la pulpe retrouvée accusait une richesse en matière sèche de 14,9 °/₀, chiffre très élevé.

Rôle des menues pailles

Lorsqu'on adopte ce système de conservation, la menue paille draine pour ainsi dire la masse, la pulpe tassée et pressée par son propre poids subit une sorte d'égouttage continuel, elle perd de l'eau et celle-ci passe dans la menue paille. Y reste-t-elle ? et, si elle est retenue, que deviennent les éléments nutritifs de la pulpe qu'elle a entrainés avec elle? C'est ce que nous discuterons un peu plus loin. Dans tous les cas, ce système d'ensilage appauvrit la pulpe de 31,7 °/₀ de matière sèche en quatre mois.

Pour le silo suivant, malgré l'addition de 115^{kg},5 de déchets de fenil par 1 000 kilogr. de pulpe, la perte brute est encore plus élevée que celle des pulpes conservées seules pendant le même temps ; elle atteint 31 °/₀.

Il en est de même avec 61 kilogr. de menues pailles pour 1 000 kilogr. de pulpe, mais la différence est moins marquée ; les pertes de poids brut s'élevaient à 20,5 °/₀ au lieu de 19,5 °/₀ pour la pulpe ensilée seule. La proportion de menues pailles représente à peu près la dose qu'on a l'habitude d'employer dans la région du Nord.

On a lu plus haut que Gay recommandait d'incorporer à la pulpe 10 kilogr. de menues pailles pour 90 kilogr. de pulpes. Nous avons voulu nous rendre compte, si, en employant une aussi forte proportion de déchets, nous réussirions à diminuer les pertes. Nous avons pu comparer d'une part 1 000 kilogr. de pulpe conservée seule, et, d'autre part, un mélange de 1 000 kilogr. de pulpe avec 100 kilogr. de menue paille. Après six mois de conservation, nous avons défait les silos et nous sommes arrivés à des résultats absolument surprenants.

Tandis que la pulpe ensilée seule accusait une perte brute de 37,5 °/₀, la pulpe avec menues pailles, malgré la forte quantité d'eau qui devait être retenue, avait perdu 42,5 °/₀ de son poids.

Si nous calculons la perte de matière sèche supportée par le mélange de la pulpe avec diverses matières absorbantes, nous trouvons les chiffres suivants :

1903-1904 Après 4 mois (octobre - février)	Pulpes seules	22,6 °/₀
	Pulpe et 61 kilogr. de menues pailles °/₀₀	16,6
	Pulpe et 115^{kg},5 de fleurs de foin °/₀₀.	16,8
1904-1905 Après 6 mois (novembre - mai)	Pulpes seules	20,0
	Pulpes avec 100 kilogr. de menues pailles °/₀₀	35,3

Il semble d'abord qu'en ne dépassant pas une certaine limite, les matières ajoutées à la pulpe n'augmentent pas sensiblement la perte de matière sèche.

Ce n'est pourtant qu'une apparence, car le pourcentage de la matière sèche dans les différents silos est donné pour l'ensemble de la substance.

Dans le mélange, la matière des déchets incorporés à la pulpe ne se détruit pas d'une manière sensible, et pour évaluer la perte réelle d'une façon exacte, il faut la calculer comme il est indiqué dans le tableau ci-dessous.

Pourcentage des pertes de substance ensilée au début

SILOS	QUANTITÉ de matière sèche ensilée	MATIÈRE sèche restante	PERTE de matière sèche	MATIÈRE SÈCHE fournie		PERTE pour cent de matière sèche répartie en totalité sur la pulpe
				par les pulpes	par les menues pailles	
Pulpes et 61 kilogr. de menues pailles pour mille . .	14,6	12,17	2,43	9,7	4,9	25,1
Pulpes et fleur de foin : 115^{kg},5 °/₀₀	17,5	14,56	2,94	9,1	8,4	32,9
Pulpes et menues pailles : 100 kilogr. °/₀₀.	15,2	9,83	5,37	7,8	7,6	68,8

Ces chiffres établissent les pertes véritables que la pulpe a dû subir. On arrive ainsi à constater que les menues pailles, loin de diminuer les pertes de matières sèches de la masse ensilée, les augmentent, et cela, d'autant plus qu'on les emploie en quantité plus considérable. Il faut remarquer toutefois que les déchets de fenils nous ont donné une perte moins élevée que les menues pailles.

On a donc grand tort de recommander d'ajouter des menues pailles à la pulpe pour favoriser sa conservation. En apportant dans le mélange une proportion de ces déchets aussi élevée que le recommandait Gay, nous avons constaté qu'au bout de six mois environ 70 °/₀ de la matière sèche de la pulpe avait été détruite.

Ainsi, tandis que les pulpes ensilées seules n'ont perdu que 20 °/₀ de matière sèche, nous avons eu à constater, en incorporant à la pulpe 10 °/₀ de menue paille en poids, une perte presque trois fois et demie plus élevée dans le même temps.

Étant donné que la perte de poids brut n'est que de 42,5 °/₀, cette diminution de matière sèche est surprenante ; elle s'explique pourtant assez facilement, car la menue paille qu'on retrouve est gorgée d'eau.

Elle s'est emparée des liquides provenant de la pulpe, de sorte que le produit brut conservé est beaucoup plus aqueux que le mélange ne l'était lors de l'ensilage.

Nous avons cherché à nous rendre compte de la quantité d'eau que la menue paille est capable d'absorber.

Par l'expérience directe, en faisant couler de l'eau sur un tamis ou était emprisonné 1 kilogr. de menue paille semblable à celle qui avait servie dans nos expériences, nous avons constaté, après un simple égouttage, que 2 kilogr. d'eau avaient été retenus. L'expérience, ayant duré encore pendant une heure, a été suivie d'une nouvelle pesée qui nous a donné sensiblement le même chiffre.

Pour avoir confirmation de ce premier résultat, nous avons, d'autre part, fait retirer, sur un échantillon pris dans le sac sortant du silo, les menues pailles mêlées à la pulpe.

Elles paraissaient n'avoir été nullement attaquées par les fermentations. 100 grammes aussitôt séparés ont été mis à l'étuve, pour servir à l'analyse.

Voici les résultats constatés :

Eau	72,2
Matière sèche.	27,8
Total. . . .	100,0

Nous avions aussi la composition de la menue paille à l'origine; elle contenait :

Eau	16,3
Matière sèche.	83,7
Total. . . .	100,0

Puisque 83,7 de matière sèche sont contenus dans 100 de menue paille, 27,8 de matière sèche retrouvée correspondaient à :

$$\frac{27,8 \times 100}{83,7} = 33,2$$

de menue paille telle qu'elle avait été ensilée.

Pour cette quantité la proportion d'eau retenue est donc de

$$100 - 33,2 = 66,8$$

Ce qui fait, pour les 100 kilogr. de menue paille ensilée, une absorption d'eau de

$$\frac{66,80 \times 100}{33,2} = 200 \text{ kilogr.}$$

comme dans l'expérience précédente.

Nous avons retrouvé 630 kilogr. de matière brute à l'ensilage, la menue paille et l'eau qu'elle a absorbée représentant 300 kilogr. environ, les 100 kilogr. de pulpes se trouvent réduits à

$$630 - 300 = 330 \text{ kilogr.}$$

soit pour elle une perte de poids brut de 67 °/₀. La perte de matière sèche étant de 68,8 °/₀ ; la pulpe restante, considérée seule, est encore aussi aqueuse qu'elle l'était à l'origine.

Pour nous rendre compte de la quantité d'éléments nutritifs que

la menue paille peut retenir par les liquides qu'elle absorbe, nous avons analysé la matière sèche de l'échantillon séparée de la pulpe.

ÉLÉMENTS DOSÉS	COMPOSITION de la matière sèche de la menue paille	
	avant l'ensilage	après l'ensilage
Matières azotées organiques totales	6,1	6,7
Matières grasses	1,4	2,2
Matières hydrocarbonées ou saccharifiables	36,2	38,5
Autres extractifs non azotés	18,3	16,2
Fibres ou cellulose	25,8	25,5
Matières minérales	12,2	10,9
Total	100,0	100,0

Ce tableau indique une augmentation de matières utiles dans la menue paille mélangée à la pulpe, mais le gain est relativement faible.

Composition comparée des produits avant et après l'ensilage

Les échantillons provenant des différents ensilages ont été analysés. Les résultats ci-après vont nous permettre de voir quelles sont les transformations des différents principes immédiats.

Les hydrates de carbone sont toujours les plus attaqués pendant la conservation, ils se perdent beaucoup plus vite que les autres éléments constitutifs, ce qui explique pourquoi ces derniers s'y trouvent toujours en proportion plus grande que dans la matière sèche de la pulpe fraîche.

Nous ferons remarquer que la pulpe stratifiée avec des menues pailles conserve une matière sèche plus riche que celle des silos de pulpe seule.

Pour les silos de pulpe avec menues pailles, la diminution d'hydrates de carbone par rapport à la matière restante est évidemment moindre, la menue paille en renfermant une proportion relativement élevée et d'une nature moins attaquable.

Pour juger de la qualité véritable des produits ensilés, il est néces-

ÉLÉMENTS DOSÉS	PULPES SEULES							PULPES							
	1903-1904		1904-1905					stratifiées avec menue paille		avec des déchets de fenil 115kg,5 °/oo		avec 61 kilogr. de menue paille °/oo		avec 100 kilogr. de menue paille °/oo	
	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après deux mois	Après quatre mois	Après six mois	Apres huit mois	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Apres quatre mois	A l'ensilage	Après quatre mois
Matières azotées organiques totales	9,2	10,2	11,1	11,6	11,1	12,9	13,4	10,1	13,2	13,7	14,6	8,7	10,1	10,3	10,3
Matières grasses	0,5	0,9	0,5	1,4	1,1	2,6	3,6	0,3	2,0	1,3	4,2	1,0	3,0	1,0	2,4
Matières hydrocarbonées en glucose	39,8	25,1	32,1	31,1	25,5	18,0	16,9	16,7	12,9	35,5	18,1	36,5	20,4	33,4	24,9
Autres extractifs non azotés	22,0	31,5	25,6	23,4	31,4	30,2	30,1	43,1	28,6	12,9	23,7	17,7	29,0	20,3	12,4
Fibre ou cellulose	19,20	21,6	23,2	23,8	21,8	26,6	25,6	19,9	29,3	18,1	17,8	21,7	21,1	21,6	37,1
Matières minérales	9,30	10,7	7,5	9,7	8,1	9,7	10,4	9,6	14,0	18,5	21,6	14,1	16,4	10,4	12,9
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Azote organique	1,47	1,64	1,78	1,86	1,78	2,06	2,14	1,61	2,11	2,19	2,31	1,40	1,61	1,65	1,65
Azote alimentaire	1,37	1,50	1,58	1,40	1,5	1,56	1,46	1,30	1,58	1,90	1,82	1,23	1,22	1,40	1,17
Azote non alimentaire	0,10	0,14	0,20	0,46	0,28	0,50	0,68	0,31	0,53	0,29	0,52	0,17	0,39	0,25	0,48

Composition de la matière humide des produits ensilés

ÉLÉMENTS DOSÉS	PULPES ENSILÉES SEULES							PULPES stratifiées avec des menues pailles		1 000 KILOGR. DE PULPES ADDITIONNÉS DE					
	1903-1904		1904-1905							115kg,5 de fleur de foin		61 kilogr. de menue paille		100 kilogr. de menue paille	
	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après deux mois	Après quatre mois	Après six mois	Après huit mois	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après six mois
Eau et matières volatiles	89,80	90,20	91,40	90,70	91,50	89,00	89,70	91,00	85,10	82,50	78,90	85,40	84,70	84,80	82,90
Matières azotées organiques	0,91	1,00	0,95	1,08	0,94	1,42	1,38	0,91	1,97	2,40	3,09	1,27	1,54	1,56	1,76
Matières grasses	0,05	0,09	0,04	0,13	0,09	0,29	0,37	0,03	0,30	0,23	0,89	0,15	0,46	0,15	0,41
Hydrates de carbone en glucose	4,06	2,46	2,76	2,89	2,17	2,00	1,74	1,50	1,92	6,20	3,81	5,32	3,12	5,08	4,26
Autres extractifs non azotés	2,24	3,08	2,20	2,08	2,76	3,29	3,10	3,91	4,25	2,26	4,99	2,59	4,44	3,09	2,13
Cellulose	1,96	2,12	2,00	2,21	1,85	2,92	2,64	1,79	4,37	3,17	3,76	3,17	3,23	3,74	6,34
Matières minérales	0,95	1,05	0,65	0,91	0,69	1,08	1,07	0,86	2,09	3,24	4,56	2,10	2,51	1,58	2,20
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Matière sèche	10,2	9,8	8,6	9,3	8,5	11,0	10,3	9,00	14,9	17,5	21,1	14,6	15,3	15,2	17,1
Acidité	»	»	0,35	1,50	1,20	1,65	1,58	»	1,81	»	2,04	»	2,06	»	1,60
Azote organique total	0,150	0,161	0,153	0,173	0,151	0,229	0,220	0,145	0,314	0,383	0,491	0,204	0,246	0,251	0,282
Azote alimentaire	0,140	0,147	0,136	0,130	0,127	0,173	0,150	0,117	0,235	0,332	0,384	0,179	0,187	0,213	0,200
Azote non alimentaire	0,010	0,014	0,017	0,043	0,024	0,056	0,070	0,028	0,079	0,051	0,110	0,025	0,059	0,038	0,082

saire d'ailleurs de faire la comparaison sur les matières humides, telles qu'on a l'habitude de les distribuer aux animaux.

Dans les expériences de 1904-1905, la pulpe après deux mois d'ensilage se trouve un peu meilleure comme qualité ; elle est moins aqueuse et plus riche en azote, en matières grasses, en cendres et en cellulose. Après quatre mois, la pulpe renferme plus d'eau ; elle se rapproche davantage de la composition de la pulpe fraîche.

Après six mois, la pulpe contient 11 °/₀ de matière sèche ; à part les hydrates de carbone qui sont en diminution assez forte, on trouve une augmentation importante de la somme des autres principes immédiats. Cela résulte évidemment de la substance, par suite des pertes en eau et de la disparition de certains principes ternaires détruits plus rapidement que les autres par la fermentation.

Après huit mois, la pulpe retrouvée est moins nutritive qu'après six mois; elle est redevenue plus aqueuse, la proportion d'amides est toujours en augmentation au détriment de l'azote alimentaire et, par l'effet des fermentations devenues plus actives, les principes hydrocarbonés et même la cellulose sont en diminution.

La pulpe stratifiée avec des menues pailles est beaucoup plus nutritive après ensilage, parce que la concentration est encore plus forte : 62 °/₀ de matière ayant disparu. La matière sèche pour cent a augmenté de plus de moitié dans la partie restante et nous trouvons dans cent de matière humide que l'azote, la cellulose et les cendres sont plus que doublés.

Dans les pulpes additionnées de fleur de foin ou de menues pailles, on voit moins ce qui se passe pour la pulpe, parce que les matières ajoutées contribuent à modifier la composition du mélange.

Certainement encore, le produit retrouvé est plus riche et plus nutritif que celui qu'on avait ensilé, mais l'amélioration n'est obtenue que par suite de la fuite plus rapide de certains éléments organiques.

Le tableau suivant permet de juger plus facilement des pertes qui ont pu se produire pendant l'ensilage.

Détermination des pertes pour c

ÉLÉMENTS DOSÉS	PULPES SEULES											
	1903-1904			1904-1905								
	A l'ensilage	Après quatre mois	Pertes pour cent	A l'ensilage	Après deux mois	Perte après deux mois	Après quatre mois	Perte après quatre mois	Après six mois	Perte après six mois	Après huit mois	P ap h m
Matière sèche	10,2	7,89	22,6	8,60	7,07	17,8	7,06	17,9	6,94	19,3	5,92	31
Matières azotées totales	0,94	0,81	14	0,95	0,82	13,7	0,78	17,9	0,89	6,3	0,79	16
Azote alimentaire . . .	0,140	0,118	15,7	0,136	0,099	27,2	0,105	22,8	0,108	20,6	0,086	36
Azote non alimentaire .	0,010	0,011	»	0,017	0,033	»	0,020	»	0,035	»	0,040	
Matières grasses. . . .	0,05	0,07	»	0,04	0,10	»	0,07	»	0,18	»	0,21	
Matières minérales. . .	0,95	0,84	11,6	0,65	0,69	»	0,57	12,3	0,68	»	0,61	(
Hydrates de carbone en glucose	4,06	1,98	51,2	2,76	2,20	20,3	1,80	34,8	1,25	54,7	1,00	63
Cellulose	1,96	1,71	12,8	2,00	1,68	16	1,54	23,0	1,84	8,0	1,52	24

Répartition des pertes de matière sèche

Nous avons déjà envisagé la perte en matière sèche et elle nous a permis de constater qu'il était préférable d'ensiler les pulpes seules plutôt que de leur incorporer des menues pailles ; nous pouvons voir ici sur quels éléments cette perte se répartit.

Pour la pulpe ensilée seule, nous avons à enregistrer des pertes en matières azotées totales variant de 6,3 à 17,9 °/₀, les variations indiquent que les pertes peuvent être plus ou moins élevées, selon l'état des silos et la nature des fermentations spontanées qui agissent pour transformer la pulpe. Mais, en définitive, ces pertes ne sont pas excessives et on peut voir que dans certains cas, même après six mois, on retrouve à peu près toute la matière azotée.

Dans la pulpe fraîche, la presque totalité de la protéine se trouve sous forme alimentaire, mais il n'en est plus de même dans les pulpes ensilées ; on constate pour celles-ci une perte d'azote alimentaire qui varie, selon les cas, de 15,7 à 36,7 °/₀ et un gain d'azote non alimentaire.

chaque partie constitutive de la pulpe

LPES STRATIFIÉES avec des menues pailles			1 000 KILOGR. DE PULPES ADDITIONNÉS DE											
			115kg,5 de fleur de foin				61 kilogr. de menue paille				100 kilogr. de menue paille			
A ensi-age	Après quatre mois	Perte après quatre mois	A l'ensi-lage	Après quatre mois	Perte répartie sur la totalité	Perte répartie sur la pulpe seu-lement	A l'ensi-lage	Après quatre mois	Perte répartie sur la totalité	Perte répartie sur la pulpe seu-lement	A l'ensi-lage	Après six mois	Perte répartie sur la totalité	Perte répartie sur la pulpe seu-lement
,0	5,66	37,1	17,5	14,56	16,8	32,9	14,6	12,17	16,6	25,1	15,2	9,83	35,3	68,8
,91	0,75	17,6	2,10	2,13	11,2	32,1	1,27	1,22	4,0	5,6	1,56	1,01	35,2	63,2
,117	0,089	23,9	0,332	0,265	20,2	53,6	0,179	0,119	16,8	22,6	0,213	0,115	46,0	79,7
,028	0,030	»	0,051	0,076	»	»	0,025	0,047	»	»	0,038	0,047	»	»
,03	0,11	»	0,23	0,61	»	»	0,15	0,37	»	»	0,15	0,24	»	»
,86	0,79	8,1	3,24	3,15	2,8	»	2,10	2,00	5,0	»	1,58	1,27	19,6	»
,50	0,73	51,3	6,20	2,63	57,6	98,6	5,32	2,48	53,4	73,6	5,08	2,50	50,8	100
,79	1,66	7,3	3,17	2,59	18,3	33,1	3,17	2,57	18,9	32,3	3,74	3,65	2,4	5,0

La matière est donc l'objet, pendant l'ensilage, d'une transformation préjudiciable à la valeur nutritive du produit. Les hydrates de carbone sont fortement attaqués pendant la conservation ; ils subissent, entre autres transformations, la fermentation alcoolique et peuvent donner par oxydation de l'acide acétique.

Si les transformations réductrices entrent en jeu, il se fait au contraire de l'acide butyrique et même des corps gras, c'est ce qui explique l'augmentation des extractifs éthérés dans la pulpe ensilée.

Il y a lieu de faire remarquer que pour les pulpes de 1903-1904 nous n'avons pas constaté d'acidité dans la matière retirée des silos ; il n'y avait pas non plus une augmentation bien marquée des matières grasses et la perte des hydrates de carbone s'élevait à plus de 50 °/₀.

Faut-il faire un rapprochement entre ces résultats ? Il est certain, en tous cas, que les fermentations qui ont dû se produire dans ces silos étaient absolument différentes de celles qui nous ont laissé une acidité de 1,5 à 2 °/₀ après quatre mois, en 1903-1904. Pour les silos de l'année dernière, la perte s'élève d'autant plus que la con-

servation a été plus longue : de 20,3 elle devient 34,8 après quatre mois, 54,7 après six mois et 63,8 après huit mois. Quant aux matières minérales disparues, elles ont dû être dissoutes pendant la fermentation et entraînées ensuite dans les eaux d'égouttement. Leur solubilisation doit également varier avec les différents ferments qui vivent dans la pulpe.

Les pertes de cendres ne sont pas apparentes, les chiffres que nous donnons à ce sujet présentent de faibles écarts, elles peuvent être dues à des différences toutes naturelles dans la composition. Au bout de deux mois, par exemple, les pulpes de 1904-1905 accusaient une quantité de cendres retrouvées plus grande que celle existant au début, lors de l'ensilage. Il est évident qu'elles n'ont pas pu augmenter et qu'il faut attribuer les différences aux écarts possibles dans toute analyse.

La cellulose elle-même est attaquée en partie, les pertes varient de 8 à 24 °/₀. Comparons maintenant ces résultats à ceux que nous avons obtenus par l'ensilage avec stratification dans la menue paille. La perte de matière sèche montre suffisamment que ce mode de conservation est inférieur à celui qui consiste à ensiler la pulpe seule. Pour l'azote total comme pour l'azote alimentaire, la perte est aussi élevée, tandis que pour les hydrates de carbone plus de la moitié a disparu au bout de quatre mois.

Lorsque la conservation est faite en mélangeant les pulpes aux menues pailles, il y a lieu de distinguer la perte apparente, calculée sur l'ensemble des produits, et la perte réelle obtenue, en supposant (ce qui doit avoir lieu pour la grande partie des principes immédiats) que la différence entre le total des substances ensilées et le total des matières retrouvées est attribuable en entier aux modifications subies par la pulpe.

Nous admettons pour cela que les déchets de fenils (fleur de foin) ou les menues pailles ont conservé tous les éléments qu'ils renfermaient au début.

Cette perte réelle est très intéressante à étudier.

Dans les pulpes stratifiées avec des menues pailles, la proportion d'azote alimentaire disparu n'est pas plus élevée que dans la pulpe ensilée seule. Avec une dose modérée de menues pailles (61 kilogr. °/₀₀

de pulpes), nous retrouvons à peu près autant d'azote qu'il en existait au début ; la perte de matière sèche porte presque exclusivement sur les autres éléments immédiats ; les hydrates de carbone disparaissent dans la proportion de 73,6 °/₀ et la cellulose dans la proportion de 32,3 °/₀.

Quand on incorpore aux pulpes une quantité plus grande de matières absorbantes, les pertes deviennent à leur tour plus considérables. Nous trouvons avec les déchets de fenil ou fleur de foin une perte de 32,1 sur l'azote total, portant sur plus de 50 °/₀ de l'azote alimentaire. Il y a lieu de se demander, cependant, si les déchets de fenil ne s'altèrent pas un peu pour leur compte ; il y avait dans les fleurs de foin une proportion assez grande de petites feuilles détachées de luzerne ou de trèfle ; celles-ci, contrairement aux tiges, ne présentent pas une résistance bien grande et il est logique d'admettre qu'elles ont pu contribuer en partie à la perte. De toute manière, celle-ci reportée sur l'ensemble dépasse 20 °/₀. C'est là un chiffre minimum, car on doit bien supposer que la pulpe perd pour son compte davantage que les déchets qu'on lui incorpore. Les hydrates de carbone ont disparu dans la proportion de 57,6 °/₀ sur l'ensemble, et de 98,6 °/₀, en calculant sur la pulpe seulement. Pour la cellulose, nous trouvons respectivement les chiffres de 18,3 sur l'ensemble, et de 33,1 sur la pulpe.

Les déchets de fenil, employés à doses élevées, déterminent moins de perte que les menues pailles. Avec celles-ci, en effet, utilisées à la dose de 10 °/₀, les pertes deviennent excessives ; elles atteignent 68,8 °/₀ de la matière sèche. La matière azotée totale, calculée sur la pulpe seule, perd 63,2 °/₀ de son poids ; l'azote alimentaire disparaît dans une proportion encore plus élevée (79,7 °/₀). Tous les hydrates de carbone saccharifiables sont détruits par la fermentation, on ne constate guère qu'une augmentation, assez faible d'ailleurs, de la matière grasse. Il n'y a pas lieu de s'en étonner, parce qu'on sait que celle-ci peut provenir de la décomposition des matières hydrocarbonées. Dans les trois séries de silos nous constatons aussi que la proportion d'acide est relativement forte.

La matière humide renfermait :

2,04 d'acide exprimé en acide acétique dans le silo avec fleur de foin ;

2,06 d'acide exprimé en acide acétique dans le silo avec 61 °/₀₀ de menues pailles ;

1,60 d'acide exprimé en acide acétique dans le silo avec 100 °/₀₀ de menues pailles.

La perte de matières minérales est trop élevée pour n'être pas réelle. Il est certain qu'elles n'ont pas pu disparaître autrement que par dissolution dans l'eau qui a coulé des silos, malgré la menue paille incorporée pour l'absorber.

Dans le cas où la pulpe était ensilée seule, les pertes de matières minérales sont restreintes. Gay avait constaté une perte de plus de moitié dans ses expériences. Comme ses déterminations ont été faites sur une grande masse de pulpes, on peut admettre que les écarts constatés proviennent surtout de la non-homogénéité de la substance, dans les échantillons prélevés au début et à la fin de l'ensilage.

CONCLUSIONS

Des expériences que nous avons poursuivies à Berthonval pendant deux années consécutives, sur la conservation des betteraves et des pulpes, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

1° Les betteraves entières, récoltées dans de bonnes conditions, peuvent se conserver pendant plusieurs mois sans altération ; mais elles perdent, par leur séjour prolongé dans les silos, une partie de leurs principes immédiats : matières azotées, hydrates de carbone et cellulose. Seules, les matières solubles dans l'éther (graisse) subissent une augmentation, par suite de la transformation des matières sucrées.

2° La cause de ces pertes réside, d'une part, dans la fermentation des hydrates de carbone, et, d'autre part, dans l'oxydation de la matière organique, qui se transforme en acide carbonique et se volatilise sous cette forme. La cellulose elle-même n'échappe point à ces transformations. La matière azotée se retrouve à peu près dans la betterave entière, mais, si elle persiste pendant la conservation, elle n'en subit pas moins une transformation défavorable à sa valeur nutritive. Les albuminoïdes diminuent pendant que les amides augmen-

tent progressivement. Il y a donc, en réalité, transformation de l'azote alimentaire en azote non alimentaire.

3° Les pertes sont d'autant plus accentuées que la conservation se prolonge plus longtemps. Après le mois de mai, il est difficile d'éviter la pourriture en tas. Celle-ci rend la conservation désastreuse lorsqu'on veut la prolonger tout l'été.

4° Les betteraves, divisées en cossettes avant l'ensilage, subissent des pertes d'autant plus grandes que les racines sont plus aqueuses.

5° L'addition des matières absorbantes aux cossettes : balles, fleur de foin, menues pailles, etc., exerce une influence défavorable en accentuant la déperdition des principes nutritifs.

6° L'ensilage des betteraves hachées n'est pas recommandable ; on ne doit y recourir que lorsqu'il s'agit de conserver les racines atteintes par les gelées ou de prolonger la conservation. Mais, dans ce dernier cas, la dessiccation est préférable, car elle permet de conserver la totalité du sucre qui disparaîtrait en grande partie par l'ensilage, en même temps qu'une forte proportion de principes nutritifs.

7° Les pulpes de sucreries ensilées subissent une perte de poids assez importante qui porte non seulement sur l'eau qu'elles renferment en proportion considérable, mais encore, et surtout, sur la matière sèche.

Tous les principes immédiats n'ont pas à supporter au même degré les influences de la fermentation en silo. Les hydrates de carbone sont fortement attaqués, ils subissent la fermentation alcoolique et peuvent donner par oxydation de l'acide acétique. Si les fermentations réductrices entrent en jeu, il se fait au contraire de l'acide butyrique et même des corps gras, c'est ce qui explique l'augmentation de la matière grasse dans la pulpe ensilée. Les matières azotées disparaissent en faible proportion, mais tandis que dans la pulpe fraîche elles sont représentées presque en totalité par des albuminoïdes, dans la pulpe conservée la proportion d'azote alimentaire va en diminuant par suite de sa transformation en composés amidés.

8° La teneur en eau est aussi grande dans la pulpe ensilée que dans la pulpe fraîche.

9° Il n'y a pas de pertes considérables de matières nutritives par

l'écoulement des eaux à travers les parois des silos. La matière minérale peut être entraînée en partie, elle se solubilise évidemment du fait de l'acidité qui se développe pendant la conservation. Il serait nécessaire de connaître, dans chaque cas, la composition primitive et le degré d'acidité du produit fermenté, pour établir la corrélation probable qu'il y a entre la disparition de la matière minérale et la marche de la fermentation.

10° L'ensilage des cossettes avec des matières absorbantes : balles, menues pailles, résidus de fenils, etc., ne met point à l'abri des pertes. La proportion de ces résidus qu'on emploie généralement est insuffisante pour retenir toute l'eau qui s'écoule des fosses à pulpes. Pour arriver à ce résultat, il faudrait en employer des quantités importantes, mais on constate alors une perte en matière sèche bien supérieure à celle qui se produit dans la pulpe ensilée seule. La paille hachée et les menues pailles, en augmentant la porosité de la masse, activent son oxydation et sa décomposition, et ont pour effet de faire dégager, sous forme de produits gazeux, une partie des principes immédiats transformés par les fermentations.

11° Pour éviter les pertes subies pendant l'ensilage, il est préférable de conserver les pulpes seules et d'en faire consommer une partie à l'état frais; il est évident, en effet, que l'énorme perte de substances nutritives, inhérente à la conservation des pulpes humides, n'est pas compensée par une valeur alimentaire plus élevée du produit qui reste.

12° Il y aurait avantage à soumettre à la dessiccation la portion des pulpes qu'il est impossible de faire consommer fraîche pendant la campagne ; si on considère que les pulpes, indépendamment des pertes qu'elles subissent pendant l'ensilage, sont d'un transport coûteux, qu'elles ne sont jamais à l'abri des fermentations et peuvent devenir une cause sérieuse d'inconvénients hygiéniques, que les vaches laitières nourries avec les cossettes fermentées donnent un lait très facilement altérable, on voit que la dessiccation est recommandable. Elle fait de la cossette un aliment de conservation facile, ayant une valeur plus grande sous un plus faible volume et pouvant, par suite, supporter des frais de transport. Les pulpes sont peu modifiées par la dessiccation, elles conservent la totalité de leur principes immédiats,

et leur matière azotée reste sous la forme albuminoïde. Mises en contact avec l'eau, elles reprennent l'état humide et peuvent satisfaire aux exigences de l'alimentation. On a prétendu que l'eau ajoutée de cette façon n'avait pas la qualité de l'eau naturelle de l'aliment, comme celle qui se trouve dans la pulpe humide : mais il ne faut pas perdre de vue que l'eau contenue dans la pulpe ne provient pas de la betterave, mais bien de celle qui a été employée à l'épuisement des cossettes. Au lieu de cette soi-disant eau naturelle, qui contient fréquemment des toxines en abondance, mieux vaut assurément administrer aux animaux l'eau potable habituelle.

L'emploi économique des pulpes desséchées est surtout possible dans les régions éloignées des sucreries et pour l'alimentation des vaches dont le lait est employé à la consommation directe.

LE

CHAMP D'EXPÉRIENCES

DU PARC DES PRINCES

(1892-1897)

SIX ANNÉES D'EXPÉRIENCES DE CULTURE

DEUXIÈME SÉRIE : 1895 A 1897 [1]

QUATRIÈME ANNÉE — 1895

Nature des fumures et récoltes en 1895

Fumure : Parcelles II à VI et IX à XV. — 100 kilogr. de nitrate à l'hectare, à la semaille.

Récolte : Parcelles I à XVI. — Avoine de Pologne, semée en ligne le 23 mars 1895, à raison de 189 litres à l'hectare (117 kilogr.).

Après le déchaumage de l'avoine, semis de lupin et de pois : lupin jaune, lupin blanc, 120 kilogr. ; pois, 60 kilogr., à l'hectare.

En 1895, l'avoine a succédé au blé, au Parc des Princes. Les résultats de cette culture ne sont pas moins intéressants que ceux des précédentes récoltes. Nous allons les résumer dans leurs traits essentiels.

Depuis la récolte du blé qui a eu lieu le 19 juillet 1894, les éteules

---

1. Voir la première série dans le fascicule 2 du tome I, 1905.

de cette céréale sont restées en terre. Étant donnée la légèreté du sol, qui ne rendait pas nécessaire un labour d'hiver, le déchaumage n'a été effectué qu'en mars, quelques jours avant la semaille de l'avoine. La variété choisie était l'avoine blanche de Pologne, variété hâtive qui nous avait paru devoir réussir sous le climat humide et un peu froid du bois de Boulogne. La semence pesait 61^{kg},850 à l'hectolitre, poids très élevé, rarement atteint par cette céréale. La semaille a été faite en ligne avec l'excellent semoir à six rangs que la maison Smith et fils avait, comme l'année précédente, mis obligeamment à notre disposition. La quantité de semence employée a été de 117 kilogr., soit 189 litres à l'hectare. Conformément aux plans d'essais adoptés depuis 1892, le seul engrais à ajouter au sol pour la récolte d'avoine était l'azote. D'ordinaire, c'est en couverture, c'est-à-dire à la volée à l'époque du tallage qu'on a coutume de répandre le nitrate de soude sur les céréales. Ayant eu connaissance des bons résultats de l'emploi du nitrate au moment de la semaille des céréales d'été, nous avons voulu en faire l'expérience. Le champ a donc reçu, quelques jours avant la semaille en ligne, une dose de nitrate de soude correspondant à 100 kilogr. de ce sel à l'hectare, soit 15 kilogr. d'azote. On se réservait de compléter cette fumure au moment convenable, par l'épandage à la volée d'une nouvelle quantité de nitrate, si l'aspect de la végétation rendait cette addition d'azote nécessaire. Il n'en a rien été : l'avoine était si vigoureuse, et de couleur verte si intense vers le milieu de mai, qu'on a jugé inutile un nouveau nitratage. On peut inférer de là que le nitrate de soude introduit dans le sol au labour qui a précédé la semaille, a suffi à l'alimentation azotée de l'avoine. Déjà, l'année dernière, la même dose de nitrate (100 kilogr. à l'hectare) avait fourni au blé une quantité suffisante d'azote pour une production de grain qui a atteint jusqu'a 38 et 43 quintaux métriques dans certaines parcelles.

L'avoine a parcouru toutes les phases de la végétation dans l'espace de cent dix-neuf jours. Semée le 23 mars, elle était complètement arrivée à maturité le 18 juillet 1895. La hauteur des tiges variait de 80 centimètres, dans les parcelles témoins, à 1^{m},50 et 1^{m},60 dans les autres.

Le battage a été fait dans le champ même avec la batteuse Lanz, excellent outil que nous avait prêté M. Faul. Cette batteuse, que deux hommes suffisent à actionner, donne de très bons résultats. Comme nous avions déjà eu l'occasion de le constater l'an dernier à propos de la récolte du blé, cette batteuse ne casse pas le grain ; elle rend de grands services à la petite culture, son prix étant peu élevé et son travail assez rapide.

Pour l'évaluation de la récolte, on a procédé de la manière suivante : l'avoine coupée à la faux, à 6 centimètres au-dessus du sol, a été mise en gerbe immédiatement. Les gerbes de chaque parcelle réunies sous la tente qui abritait la machine à battre ont été pesées, puis battues. Le grain passé au tarare a été pesé, et le poids de la paille déterminé par différence entre celui des gerbes et celui des grains. Les chiffres que l'on trouvera plus loin, sous la rubrique « paille », représentent donc à la fois le poids de la paille et celui des balles. Le poids *naturel*, c'est-à-dire le poids apparent de l'hectolitre d'avoine, a été obtenu par la pesée d'un décalitre de grains tassé et arasé comme on a l'habitude de le faire dans la pratique. La densité réelle de l'avoine a été déterminée au laboratoire, quand on a procédé à l'analyse des produits des différentes parcelles.

Ceux de nos lecteurs qui ont suivi les expériences du Parc des Princes savent que l'un des objectifs principaux que nous avons en vue est l'étude de la valeur agricole comparative des divers phosphates. Dans les douze parcelles qui ont été fumées au nitrate de soude, il n'existe d'autre différence, dans la quantité et la nature de la fumure, que la forme sous laquelle l'acide phosphorique leur a été donné ; en effet, toutes ont reçu, en 1892, 200 kilogr. de potasse sous le même état (kaïnite) et 300 kilogr. d'acide phosphorique, sous forme de phosphates minéraux bruts à l'état de poudre fine, de scories de déphosphoration, de superphosphate et de phosphate précipité. Le sol étant de composition suffisamment homogène dans toute l'étendue du champ, les différences constatées dans les rendements ne sont attribuables qu'à l'assimilation plus ou moins complète, suivant les conditions climatériques et la nature des récoltes, des divers phosphates. Les déductions à tirer des résultats observés chaque année acquièrent par la continuité des expériences une valeur croissante,

la succession des récoltes, dans des conditions de fumure identique pour chaque parcelle, rendant de moins en moins sensibles les variations accidentelles. Dans un champ d'expériences où l'on ne fait varier qu'une seule condition à la fois, comme c'est le cas au Parc des Princes, et dont le plan comporte une série d'années d'essais dans la même direction, on peut espérer arriver à des conclusions applicables à la pratique culturale qu'une seule année d'expériences, si bien conduites soient-elles, ne saurait donner.

Dans les tableaux suivants, on a inscrit à côté du numéro de la parcelle le nom de l'engrais phosphaté qu'elle a reçu. Nous commençons par rapporter les chiffres relatifs aux douze parcelles nitratées; nous donnerons plus loin ceux qui permettent la comparaison des récoltes obtenues avec les trois engrais azotés.

TABLEAU I

NUMÉROS des parcelles	NATURE des phosphates	POIDS du grain	POIDS de la paille et des balles	RÉCOLTE totale	POIDS de l'hectolitre	NOMBRE d'hectolitres à l'hectare	MULTIPLICATION de la semence
		q. m.	q. m.	q. m.			
X	Somme 75/80	30,00	72,00	102,00	52,80	56,85	25,7
XI	Floride.	29,70	67,60	97,30	53,40	55,61	25,4
IX	Portugal	26,14	65,86	92,00	53,20	49,13	22,3
XII	Scories de l'Est . . .	25,45	63,20	88,65	55,70	45,60	21,8
III	Ardennes.	24,82	60,24	85,06	50,50	49,15	21,2
VI	Cambrésis.	24,73	77,87	102,60	52,50	47,10	21,1
IV	Boulonnais	24,59	57,61	82,20	50,80	48,40	21,0
XIII	Scories anglaises. . .	23,30	54,70	78,00	54,70	42,60	19,7
XV	Superphosphate . . .	22,60	52,80	75,40	52,20	43,30	19,2
II	Somme 45/50	22,25	63,51	85,76	50,10	44,40	19,0
V	Indre	20,62	60,31	80,93	47,20	43,65	17,6
XIV	Phosphate précipité. .	20,25	38,50	58,75	50,70	39,94	17,2
I XVI	Moyenne des témoins.	12,89	42,88	55,77	46,70	27,60	11,0

Le tableau I indique, pour chaque parcelle, classés d'après les poids décroissants d'avoine récoltée : 1° les rendements en grain ; 2° en paille, 3° le poids total de la récolte, 4° le poids de l'hectolitre,

5° le nombre d'hectolitres à l'hectare et 6° la multiplication de la semence ; tous les chiffres sont rapportés à l'hectare.

Le poids naturel de la semence était extraordinairement élevé, comme nous l'avons dit précédemment (61^{kg},85 à l'hectolitre). Il n'a été atteint par l'avoine d'aucune des parcelles. Comme on le verra en jetant un coup d'œil sur le tableau I, il a été supérieur, une seule fois, à 55^{kg},70 et il est tombé à 47^{kg},20 dans la parcelle V et à 46^{kg},70 dans les parcelles témoins I et XVI. L'analyse de l'avoine de semence et du grain récolté dans les diverses parcelles pourra-t-elle nous donner l'explication de ces divergences ? C'est ce que nous chercherons à élucider.

De la discussion des chiffres contenus dans le tableau I et de leur comparaison avec les résultats des années précédentes, nous aurons à tirer d'intéressantes déductions. Bornons-nous pour le moment à constater que, d'une manière générale et en ce qu'elles ont de fondamental, les conclusions que nous avons tirées les années précédentes des rendements obtenus au Parc des Princes trouvent, dans la récolte de 1895, une complète confirmation. Cette récolte montre de nouveau à l'évidence deux faits importants pour les cultivateurs des sols siliceux pauvres, très abondants en France, savoir : 1° la possibilité d'obtenir dans ces terrains, pourvu que leurs qualités physiques s'y prêtent, des rendements en céréales comparables à ceux des sols de longue date en culture et justement réputés fertiles ; 2° l'assimilabilité du phosphate de chaux naturel d'origines les plus diverses : comme le blé, l'avoine a utilisé les sables phosphatés de la Somme, la phosphorite du Portugal, les phosphates du gault, du grès vert, de l'étage crétacé, etc... Il en est de même des scories de déphosphoration. Les hauts rendements en avoine du champ d'expériences, de 20 à 30 quintaux de grains à l'hectare, sont d'autant plus intéressants à constater, qu'en général cette année n'a pas été favorable au développement de cette céréale.

La valeur d'une récolte de céréales dépend principalement de la quantité du grain produit, mais elle ne peut s'établir rationnellement qu'en tenant compte de la paille, dont il y a lieu d'ajouter le prix à celui du grain, soit que le cultivateur l'utilise pour l'alimentation de son bétail, soit qu'il la vende.

La proportion de la paille au grain varie, on le sait, très notablement d'une céréale à une autre et même d'une variété de céréale à une autre variété ; elle varie également avec les conditions météorologiques et même avec la nature du sol et des engrais que celui-ci a reçus. Les écarts entre la proportion du grain et de la paille récoltés dans le même terrain, la même année, sont mis en évidence par les résultats des essais culturaux du champ d'expériences du Parc des Princes, sans qu'il nous soit possible, quant à présent du moins, d'en donner une explication satisfaisante. Nous les enregistrons à titre de renseignements et pour en déduire, comme on le verra plus loin, la part qui revient à la fumure dans le coût du grain obtenu *en excédent* sur les parcelles non fumées.

En partant des rendements inscrits dans le tableau I, il est aisé de calculer pour la récolte de chacune des parcelles : 1° la quantité de paille correspondant à 100 kilogr. de grain, et 2°, réciproquement, le poids du grain correspondant à 100 kilogr. de paille. Le tableau II résume les résultats de ces calculs :

TABLEAU II

NUMÉROS des parcelles	NATURE DES PHOSPHATES	POIDS de paille correspondant à 100 kilogr. de grain	POIDS de grain correspondant à 100 kilogr. de paille
—	—	—	—
X.	Somme 75/80.	240 »	41,66
XI.	Floride.	227,6	43,92
IX.	Portugal	252,0	36,69
XII.	Scories de l'Est	248,4	40,26
III.	Ardennes.	242,8	41,20
VI.	Cambrésis	314,8	31,75
IV.	Boulonnais	234,2	42,69
XIII.	Scories anglaises. . . .	234,8	42,59
XV.	Superphosphate	233,0	42,82
II.	Somme 45/50	285,0	35,03
V.	Indre	292,0	34,19
XIV.	Phosphate précipité. . .	190,0	52,50
I et XVI.	Sans engrais [1]	330,1	30,28

Avant la moisson, il était facile de constater, au simple aspect de

1. Moyenne des deux parcelles témoins.

la récolte, un écart considérable entre certaines parcelles, mais on ne se serait jamais douté que la balance accuserait, entre les parcelles VI et XIV, par exemple, une différence dans les rapports de la paille au grain de près de 64 °/₀ en faveur de la parcelle VI (Cambrésis). Ces écarts, difficiles à expliquer, doivent être notés, car ils influent très sensiblement sur la valeur totale de la récolte et sur le coût du grain. Nous le montrerons dans un instant.

Si l'on prend la moyenne des rapports de la paille au grain pour toute la récolte du champ, on trouve que l'avoine de Pologne donne 250 kilogr. de paille pour un quintal de grain et 40^{kg},34 de grain pour un quintal de paille. Cette avoine fournit donc une plus grande quantité de paille que la plupart des autres variétés, le chiffre moyen indiqué par les agronomes les plus autorisés étant de 225 kilogrammes de paille pour 100 de grain. La paille d'avoine, beaucoup plus riche en matière azotée que celle du blé et du seigle, convient particulièrement à l'alimentation du cheval.

Pour donner une idée de la valeur *brute* de la récolte de chacune des parcelles, nous prendrons, comme base des calculs, le prix actuel de l'avoine[1], soit 16 fr. les 100 kilogr., et 25 fr. pour 1 000 kilogr. de paille. Les chiffres du tableau III sont établis d'après ces valeurs et rapportés à une surface d'un hectare :

TABLEAU III. — Estimation de la récolte

NUMÉROS des parcelles	NATURE DES PHOSPHATES	VALEUR du grain		VALEUR de la paille		VALEUR de la récolte
X.	Somme 75/80.	480,00	+	180,00	=	660,00
XI.	Floride	475,23	+	169,00	=	644,20
VI.	Cambrésis	395,68	+	194,75	=	590,43
IX.	Portugal.	418,24	+	164,65	=	582,89
XII.	Scories de l'Est. . . .	407,20	+	158,00	=	565,20
III.	Ardennes	397,12	+	150,60	=	547,72
IV.	Boulonnais.	393,44	+	144,02	=	537,46
XIII.	Scories anglaises . . .	372,80	+	136,75	=	509,55
XV.	Superphosphate	361,60	+	132,00	=	493,60
II.	Somme 45/50.	356,00	+	132,00	=	488,00
V.	Indre	329,92	+	150,77	=	480,69
XIV.	Phosphate précipité . .	324,00	+	96,25	=	420,25
I et XVI.	Sans engrais	206,24	+	106,45	=	312,69

1. Cours de l'époque.

Le coût moyen de la fumure, pour l'année 1895, peut s'établir approximativement, en admettant qu'il se compose du cinquième des prix du fumier, des phosphates et de la kaïnite enfouis dans le sol la première année, et du prix des 100 kilogr. de nitrate employés au printemps dernier. Nous avons fait connaître précédemment[1], avec tous les détails désirables, les éléments de l'évaluation de la dépense faite, dans chaque parcelle, suivant le prix des phosphates employés, mais, pour plus de simplicité, nous attribuerons ici une valeur unique à l'acide phosphorique (30 cent. le kilogramme chiffre supérieur à la dépense réelle).

La part de la dépense de fumure, afférente à l'avoine de 1895, ressort à un chiffre inférieur à 100 fr. à l'hectare et qui s'établit ainsi qu'il suit :

1/5 de 180 fr., prix des 30 000 kilogr. de fumier	= 36 fr.
1/5 de 90 fr., prix des 300 kilogr. d'acide phosphorique.	= 18
1/5 de 80 fr., prix des 200 kilogr. de potasse	= 16
100 kilogr. de nitrate de soude.	= 24
	94 fr.

En comptant 100 fr. pour le prix de la fumure de l'avoine, nous sommes donc certain de rester au-dessus de la vérité.

Mise en regard des chiffres qui, dans le tableau III, représentent la valeur totale de la récolte de chaque parcelle, rapportée à l'hectare, cette dépense de 100 fr. laisserait, pour couvrir les dépenses de toute sorte, loyer, culture, récolte, impôts et bénéfice, des sommes variant de 320 à 560 fr., suivant la nature des phosphates employés.

On remarquera, en comparant les chiffres des tableaux I et II, l'influence que le rendement en paille peut exercer sur la valeur d'une récolte de céréales : c'est ainsi, par exemple, que le *Cambrésis,* qui ne vient qu'au sixième rang, d'après la quantité de grain récolté (tableau I), figure au troisième, d'après la valeur totale de la récolte (tableau III), la quantité extraordinaire de paille fournie par la parcelle VI rachetant et au delà l'infériorité relative de la production du grain. Tandis que dans l'estimation de la récolte de la parcelle II la

1. Voir tome I, 2e fascicule, 1905.

paille ne figure que pour le tiers environ de la valeur totale, elle entre dans celle de la parcelle VI à peu près pour moitié. Il nous a paru utile de noter ces différences pour insister sur la nécessité de tenir compte des quantités de paille produites, dans tous les calculs relatifs à l'évaluation de la valeur des récoltes de céréales.

Nous avons trop de fois eu l'occasion, depuis de longues années, de nous prononcer à l'endroit de la fixation de ce que l'on est convenu d'appeler le *prix de revient* des denrées agricoles pour y revenir longuement. Il n'existe pas, à proprement parler, de *prix de revient* du blé, de l'avoine, etc., ou, plutôt, il y a autant de prix de revient de ces denrées que d'exploitations où on les produit. Le prix de revient est le résultat d'un ensemble de facteurs éminemment variables d'un point à un autre, d'une exploitation à une autre, si voisines ou si comparables qu'elles puissent paraître au premier abord. Nous nous sommes toujours élevés à juste titre, nous en avons du moins la conviction, contre l'affirmation d'un prix de revient unique du quintal de blé, 25 fr. par exemple, quels que soient le lieu et les conditions de production de cette quantité de froment. La seule évaluation qui nous ait toujours paru non seulement possible, mais presque absolument exacte, est celle du rapport existant entre la dépense en engrais et le coût du quintal de blé, d'avoine, de pommes de terre, etc., obtenu, grâce à cette dépense, dans un sol et pour une année donnés. Depuis plus de vingt-cinq ans que nous étudions expérimentalement la production des diverses plantes de la grande culture, nous nous sommes toujours attachés à établir le *prix de revient* du quintal obtenu *en excédent sous l'influence des engrais*, sans chercher à établir le prix de revient *moyen* du quintal de la récolte, ce dernier étant tellement variable, suivant les conditions où l'on est placé, qu'il ne saurait être défini par un chiffre unique, pour chaque végétal.

Appliquant à la récolte d'avoine du Parc des Princes, en 1895, la méthode que nous avons toujours suivie pour ce genre de calcul, nous allons chercher à montrer combien est prépondérante l'influence de la fumure sur les rendements du sol et sur le coût des produits obtenus.

Les parcelles I et XVI demeurées sans aucune fumure depuis l'o-

rigine, mais très profondément défoncées en 1891-1892, condition qui a sensiblement amélioré la fertilité naturelle du sol, ont donné les rendements suivants, rapportés à l'hectare :

Avoine (grains)	12^{qm},89
Avoine (paille)	42^{qm},88

En retranchant ces quantités du produit de chacune des parcelles, on a, pour différence, le poids des récoltes de grain et de paille vraisemblablement attribuables à l'engrais, puisque toutes les autres conditions, sauf celle de la fumure, sont identiques à celles des témoins. Le tableau IV nous indique les *excédents* en grain et paille (rapportés à l'hectare) fournis par chacune des parcelles :

TABLEAU IV

NUMÉROS des parcelles	NATURE DES PHOSPHATES	EXCÉDENTS SUR LES TÉMOINS à l'hectare	
		Grain	Paille
		quint. mét.	quint. mét.
X.	Somme 75/80	17,11	29,12
XI.	Floride	16,81	24,72
IX.	Portugal.	13,25	22,98
XII.	Scories de l'Est.	12,56	20,32
III.	Ardennes	11,93	17,36
VI.	Cambrésis	11,84	34,99
IV.	Boulonnais.	11,70	14,73
XIII.	Scories anglaises	10,41	11,82
XV.	Superphosphate.	9,71	9,92
II.	Somme 45/50	9,36	20,63
V.	Indre.	7,73	17,43
XIV.	Phosphate précipité	7,36	4,38 (1)

Il est évident, *a priori*, que l'excédent d'avoine récolté, pour une même dépense en engrais, évaluée à 100 fr. par hectare (maximum), étant dans la parcelle X de 17^{qm},11 et de 7^{qm},36 dans la parcelle XIV, le prix de revient de chaque quintal (excédent) sera essentiellement différent. Cette différence s'accentuera encore bien davantage si,

1. La parcelle XIV a produit 4^{qm},38 de paille de moins que les parcelles témoins, bien qu'ayant donné 7^{qm},36 de grain de plus que ces dernières.

comme on a coutume de le faire dans la comptabilité agricole, on retranche du prix du quintal de grain celui de la paille correspondante. Le tableau V met en lumière cette double différence et montre de la manière la plus frappante l'influence de la fumure sur le coût d'un quintal d'avoine, dans les conditions où nous avons opéré au Parc des Princes. Deux mots sur la manière dont a été établi le tableau V.

La première colonne donne le quotient de 100 par le nombre de quintaux de grain obtenus, *en excédent*, sur les parcelles non fumées : les chiffres qu'elle renferme expriment le coût (en fumure) du quintal de grain avec la paille correspondante ; la deuxième colonne donne le prix de la paille correspondant à la récolte en grain, calculé à raison de 25 fr. les 1 000 kilogr. Dans la troisième colonne, sont inscrits les prix du quintal d'avoine (première colonne), défalcation faite de la valeur vénale de la paille correspondante.

TABLEAU V

NUMÉROS des parcelles	NATURE DES PHOSPHATES	COUT (en engrais) du quintal de grain avec sa paille		VALEUR de la paille correspondante		COUT du quintal de grain (en engrais)
—	—	—		—		—
		francs		francs		francs
X.	Somme 75/80	5,84	—	4,19	=	1,65
XI.	Floride.	5,94	—	3,57	=	2,37
IX.	Portugal	7,47	—	4,33	=	3,14
XII.	Scories de l'Est	7,96	—	4,04	=	3,92
III.	Ardennes.	8,38	—	3,64	=	4,74
VI.	Cambrésis	8,45	—	7,38	=	1,07
IV.	Boulonnais	8,54	—	3,01	=	5,53
XIII.	Scories anglaises.	9,60	—	2,84	=	6,76
XV.	Superphosphate	10,29	—	2,55	=	7,74
II.	Somme 45/50	10,68	—	5,50	=	5,18
V.	Indre	12,93	—	5,63	=	7,30
XIV.	Phosphate précipité. . . .	13,57	+	1,45	=	15,02

CINQUIÈME ANNÉE

Nature des fumures et récolte en 1896

Le champ d'expériences du Parc des Princes a fourni cette année sa cinquième récolte.

Les fumures ont été les suivantes :

Parcelles I et XVI : Moitié de chaque parcelle seulement a été semée en lupins le 2 août 1895.

Parcelles II à XV : Entièrement semées en légumineuses, pois et lupins enfouis au commencement d'avril 1896.

En 1896, pas plus que dans les années précédentes, les parcelles II à XV n'ont reçu aucune fumure minérale. Les pommes de terre ont été plantées sur lupin enfoui au moment de la plantation.

Dans les parcelles I et XVI qui servent de témoins, moitié seulement avait été semée en lupin après le déchaumage de l'avoine en 1895. La récolte moyenne des deux parties des témoins I et XVI a été la suivante :

	POMMES DE TERRE à l'hectare
Partie plantée après lupin	10,818 kilogr.
Partie plantée sans lupin.	7,066 —
Différence	3,752 —

soit 34,7 °/₀.

Lors de sa création, au printemps de 1892, on s'est proposé comme objectif principal, dans les seize parcelles de 1 are et demi chacune, soumises à un assolement, l'étude comparative de l'influence des diverses formes d'acide phosphorique sur les végétaux de la grande culture. A cet effet, nous l'avons dit, chaque parcelle fumée a reçu, au printemps de 1892, 4 kilogr. et demi (correspondant à 300 kilogr. à l'hectare) d'acide phosphorique à divers états de combinaison : la potasse a été fournie au sol, sous une forme unique (kaïnite), à la dose de 3 kilogr. par parcelle (soit 200 kilogr. de potasse à l'hectare). L'azote a été donné à doses égales à l'état de nitrate de soude, de sulfate d'ammoniaque et de sang desséché : 45 kilogr. d'azote pour les plantes sarclées, 15 kilogr. pour les céréales. Jetons un coup d'œil d'ensemble sur les conditions actuelles de fertilité du champ, en rapprochant les prélèvements en éléments nutritifs que cinq récoltes successives ont exercés, des quantités de chacun d'eux introduites par la fumure ou existant dans le sol vierge mis en culture en 1892.

Comme nous l'avons vu, le sol du bois de Boulogne est très pauvre

en aliments des plantes; rappelons que son analyse montre que sa teneur naturelle en acide phosphorique, potasse et azote est loin d'atteindre celle que beaucoup d'agronomes indiquent comme richesse minima d'une terre fertile, soit 0,1 °/₀ (1/1 000 du poids de la terre fine).

SOL DU PARC DES PRINCES	POUR cent parties de terre	A L'HECTARE dans une couche de 0m,30 d'épaisseur
Acide phosphorique	0,045	2,092
Potasse	0,019	883
Azote	0,068	3,162
Chaux	0,920	42,780

Ce sol, qui appartient à la catégorie des terrains siliceux non calcaires, renferme cependant assez de chaux pour assurer la nitrification des matières organiques et pour fournir aux récoltes l'alimentation calcaire nécessaire à leur développement : il paraît très probable, en outre, que l'action si manifeste des phosphates constatée depuis l'origine de nos essais doit être entièrement attribuée à l'acide phosphorique, l'approvisionnement des végétaux en chaux étant largement assuré par la présence de plus de 1 1/2 °/₀ de calcaire dans le sol.

Sans revenir sur l'influence particulière des différentes formes d'acide phosphorique sur les récoltes des cinq années, bornons-nous à rappeler les rendements moyens rapportés à l'hectare, des végétaux qui se sont succédé au Parc des Princes :

ANNÉES	RÉCOLTES		QUINTAUX métriques
1892.	Pommes de terre Richter's Imperator		248,8
1893.	Pommes de terre jaune de Hollande		216,4
	Pommes de terre Marjolin Tétard		179,8
1894.	Blé d'Alsace	Grain	33,9
		Paille et balles	106,7
1895.	Avoine de Pologne	Grain	24,5
		Paille et balles	61,1
1896.	Pommes de terre jaunes de Hollande		138,1

Tous ces rendements sont élevés et montrent la grande efficacité des engrais expérimentés : notons quelques particularités intéres-

santes. Le tableau suivant donne la récolte de pommes de terre de 1896 comparée à celle de 1893.

Pommes de terre (jaune de Hollande) [1896].

Comparaison avec la récolte de la même variété en 1893

NUMÉROS des parcelles	NATURE DES PHOSPHATES	1896	1893
—	—	—	—
		kilogr.	kilogr.
I.	Témoin sans fumure	6 666	9 884
X.	Somme 75/80	17 771	24 516
XI.	Floride	16 572	21 314
III.	Ardennes	16 328	21 875
IX.	Portugal	15 232	20 478
II.	Somme 45/50.	13 812	19 940
XII.	Scories Est	13 028	23 721
VI.	Cambrésis	12 798	25 809
XIII.	Scories anglaises.	12 773	23 383
V.	Indre	12 472	21 726
IV.	Boulonnais	11 922	21 428
XIV.	Phosphate précipité	11 673	19 709
XV.	Superphosphate	11 126	15 739
XVI.	Témoin sans fumure	7 466	8 204

La différence énorme entre les rendements de la même variété de pommes de terre en 1893 et 1896 paraît devoir s'expliquer par l'épuisement des parcelles en potasse, la fumure verte (lupins et pois) ayant apporté au moins 80 kilogr. d'azote à l'hectare, et la quantité d'acide phosphorique contenu dans le sol étant encore considérable. C'est ce qui nous a engagés à donner, en 1897, les quantités de 200 et 400 kilogr. de potasse à l'hectare aux parcelles II à XV pour la culture de maïs.

Comparaison de la valeur fertilisante des engrais azotés

Les parcelles VII, VIII et XII ont porté, depuis la création du champ d'expériences, les récoltes suivantes :

1892.	Pommes de terre.
1893.	Pommes de terre.
1894.	Blé d'Alsace.
1895.	Avoine de Pologne.
1896.	Pommes de terre.

Les fumures phosphatée (scories) et potassique (kaïnite) ont été les mêmes pour les trois parcelles.

Les parcelles VII et VIII ont reçu l'azote sous forme de sulfate d'ammoniaque et de sang desséché (45 kilogr. d'azote à l'hectare en 1892 et 45 kilogr. en 1893).

La différence entre les rendements moyens de ces parcelles et celui de la parcelle XII (nitrate de soude) ne dépend donc que de l'état sous lequel l'azote a été donné. La comparaison des récoltes permet d'apprécier la supériorité du nitrate sur le sulfate d'ammoniaque et sur le sang desséché, dans les conditions où les expériences ont été faites.

Les rendements, rapportés à l'hectare, ont été les suivants :

		PARCELLES		
		XII — Nitrate de soude — q. m.	VII — Sulfate d'ammoniaque — q. m.	VIII — Sang desséché — q. m.
Pommes de terre [1]		628,90	533,40	431,02
Blé	Grain	34,22	30,73	28,53
	Paille	76,35	64,37	57,28
Avoine	Grain	25,45	15,04	17,97
	Paille	63,20	42,88	56,23
Substance végétale totale produite		828,12	686,42	591,03

Si l'on égale à 100 la récolte totale en substance végétale obtenue avec le nitrate, le poids de la récolte produite par le sulfate d'ammoniaque est représenté par 82,9 et celui de la récolte avec le sang desséché par 71,3.

C'est sans nul doute au labour très profond qu'il faut attribuer les rendements élevés des parcelles I et XVI, qui n'ont reçu aucune fumure, le terrain du champ d'expériences, défriché pendant l'hiver de 1891-1892, ayant été défoncé à la profondeur moyenne de 60 à 75 centimètres dans toute son étendue.

Le blé d'Alsace, qui a donné un haut rendement en grain, a fourni une proportion de paille et balles extrêmement élevée ; les éléments de comparaison nous manquent pour expliquer ce fait, bornons-nous

1. Ce chiffre exprime le poids des rendements et tubercules récoltés dans les trois années 1892, 1893 et 1896.

à rappeler que la récolte, le battage et les pesées ont été faits avec un soin minutieux.

La variété de pommes de terre Richter, cultivée en 1892, provenait de semences qui nous ont été fournies par un cultivateur du canton de Vaud ; hybride du Richter's Imperator et de la Gloire-du-Chili (?), cette variété a mal mûri sous le climat froid et humide du bois de Boulogne ; elle n'a pas donné un rendement aussi élevé qu'on aurait pu l'attendre. En 1893, la jaune de Hollande ayant donné, dans des conditions absolument identiques, un rendement sensiblement inférieur à celui de la Marjolin, nous avons renoncé à la plantation de cette dernière variété en 1896 pour nous en tenir à la jaune de Hollande dont les plantons nous ont été fournis par l'habile maraîcher de Groslay, M. Joseph Rigault.

Le fait le plus important qui résulte de la comparaison des récoltes de pommes de terre de 1893 et 1896 est la diminution très considérable dans le rendement de la jaune de Hollande (36 °/₀ en moyenne pour les quatorze parcelles). L'explication de cette diminution résultera très clairement de la discussion à laquelle nous allons soumettre les conditions relatives à la fumure du sol, comparée aux prélèvements des récoltes.

En appliquant aux chiffres qui représentent les rendements obtenus à l'hectare, de 1892 à 1896, on peut se faire une idée approchée des conditions dans lesquelles se trouvait la culture de la pomme de terre en 1896 et de celle où serait placée la récolte de 1897, si l'on ne lui fournissait pas de nouveaux éléments nutritifs. Examinons successivement à ce point de vue les diverses récoltes de pommes de terre et de céréales, en ce qui regarde la consommation d'azote, d'acide phosphorique et de potasse.

Pommes de terre

Quantités enlevées par la récolte (à l'hectare).

Année 1892. — Variété Richter's-Eiffel :

	AZOTE	ACIDE phosphorique	POTASSE
	—	—	—
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Tubercules	84,6	39,8	144,3
Fanes	24,4	8,0	21,4
Totaux	109,0	47,8	165,7

	AZOTE	ACIDE phosphorique	POTASSE
	— kilogr.	— kilogr.	— kilogr.
Année 1893. — Jaune de Hollande :			
Tubercules	73,6	34,6	125,5
Fanes	21,2	6,9	18,6
Totaux	94,8	41,5	144,1
Année 1896. — Jaune de Hollande :			
Tubercules	47,0	22,1	80,0
Fanes	9,4	4,4	11,9
Totaux	56,4	26,5	91,9

Au total, pour les trois récoltes, les quantités d'azote, d'acide phosphorique et de potasse s'élèvent aux chiffres suivants, en observant qu'il n'y a pas lieu de tenir compte des quantités de ces principes contenus dans les fanes, ces dernières n'ayant point été enlevées, mais enfouies dans le sol, auquel elles ont restitué, en se décomposant, leurs matières utiles à la végétation.

Bilan de la culture des pommes de terre

	AZOTE	ACIDE phosphorique	POTASSE
	— kilogr.	— kilogr.	— kilogr.
Exportés par les récoltes 1892 et 1893.	205,2	96,5	349,8
Apportés par les fumures	90 »	300 »	200 »
Différences.	— 115,2	+ 203,5	— 149,8

Il résulte de cette comparaison que seul l'acide phosphorique de nos trois récoltes de pommes de terre a pu leur être fourni par la fumure ; plus de la moitié de l'azote et de la potasse qu'elles renferment ont été directement empruntés par elles aux matériaux azotés et potassiques du sol lui-même qui, malgré sa pauvreté relative, a pu suffire à l'abondante récolte des deux premières, provoquée sans nul doute par le large approvisionnement de la terre en acide phosphorique assimilable.

Pour la récolte de 1896, la potasse utilisable pour la pomme de terre a certainement fait défaut et c'est là qu'il faut chercher la cause de l'abaissement dans le rendement de la même variété, de 21 600 kilogr. à 13 800 kilogr. Nous avions déjà constaté, dans deux

parcelles du champ spécialement affectées aux essais sur l'action de la potasse, un résultat identique.

Au début (1892), l'une des parcelles avait reçu 200 kilogr. de potasse à l'hectare; l'autre, 100 kilogr. seulement; la première année, les rendements furent sensiblement égaux; à la deuxième récolte, ils étaient déjà notablement différents; la troisième année, dans la parcelle qui n'avait reçu que 100 kilogr. de potasse, la récolte en tubercules a été de 40 °/₀ inférieure à celle de la parcelle à 200 kilogr.

Examinons maintenant les emprunts faits au sol par nos deux récoltes de céréales. Voici les quantités de chacun des trois principes fondamentaux enlevés par le blé, en 1894, et par l'avoine qui lui a succédé en 1895.

		AZOTE	ACIDE phosphorique	POTASSE
		— kilogr.	— kilogr.	— kilogr.
Blé	Grain	70,49	26,77	17,62
	Paille	5,12	4,27	8,96
	Total	75,61	31,04	26,58
Avoine	Grain	43,17	16,68	11,77
	Paille	3,42	1,71	9,95
	Total	46,59	18,39	21,72

L'approvisionnement du sol en acide phosphorique a été plus que suffisant pour permettre au blé et à l'avoine de donner les récoltes élevées de 34 quintaux et 24^{qx},5 que nous avons constatées. L'avoine a été suivie d'une culture intercalaire de légumineuses, lupin et pois, qu'on a enfouie en vert et qui a apporté environ 100 kilogr. d'azote emprunté à l'atmosphère.

Si nous récapitulons les fumures et les exigences minérales des cinq récoltes du Parc des Princes, nous arrivons aux résultats suivants :

De 1892 à 1896.	AZOTE	ACIDE phosphorique	POTASSE
	— kilogr.	— kilogr.	— kilogr.
Fournis au sol	265 (1)	300 »	200 »
Enlevés par les récoltes	327,4	145,9	379,2
Enrichissement ou appauvrissement du sol.	— 62,4	+ 154,1	— 179,2

1. 45 kilogr. sous forme de nitrate en 1892, 1893 et 1896; 15 kilogr. id. au blé et à l'avoine; 100 kilogr. d'azote fixé par les légumineuses. Soit, au total : $45 \times 3 + 30 + 100 = 265$ kilogr. d'azote.

Les éléments du sol auraient donc dû fournir, en supposant que la totalité de l'azote et de la potasse introduits par la fumure aient été utilisés par les plantes, ce qui ne saurait être, 62 kilogr. du premier de ces éléments et 179 kilogr. du second, tandis que les récoltes auraient laissé disponibles, pour l'avenir, 154 kilogr. d'acide phosphorique, c'est-à-dire près de la moitié de la quantité apportée à la terre par la fumure de tête, en 1892.

Quelques conclusions générales se dégagent de ce calcul de statique chimique ; on peut les formuler comme suit :

1° La fumure phosphatée, donnée au début, peut suffire encore à plusieurs récoltes ;

2° Par contre, il est indispensable de recourir dès aujourd'hui à un apport de potasse, si l'on veut ramener la fertilité du champ à ce qu'elle était il y a quatre ans ;

3° En ce qui concerne l'azote, l'emploi du nitrate de soude doit être continué, bien que, suivant toute apparence, la nitrification ait joué un rôle notable dans la production des céréales qui ont reçu 100 kilogr. seulement de nitrate de soude à l'hectare, soit la dose faible de 15 kilogr. d'azote ;

4° L'avantage qu'il y a à employer d'un coup une dose massive d'acide phosphorique ressort clairement de la comparaison des rendements en pommes de terre et en céréales du Parc des Princes avec ceux de terres réputées beaucoup plus fertiles.

C'est à l'introduction, dès le début, d'une quantité considérable d'acide phosphorique sous forme de scories ou de phosphate minéral que sont dus les hauts rendements constatés. On peut admettre, surtout en ce qui regarde l'acide phosphorique des phosphates minéraux, généralement considéré comme peu assimilable, que le cultivateur qui y a recours a tout intérêt à procéder par doses massives, afin d'assurer aux végétaux, dès la première année, une large alimentation en acide phosphorique leur permettant d'utiliser au maximum les autres éléments minéraux du sol. L'insuccès des phosphates minéraux peut, dans certains cas, dépendre de la trop faible quantité mise à la disposition des plantes. Comme on n'a rien à redouter du lavage des terres par les pluies au point de vue de l'entraînement de l'acide phosphorique, il est préférable d'appliquer

en une fois des quantités de scories ou de phosphate en poudre pour suffire à cinq ou six récoltes successives.

Nous nous proposons d'ailleurs d'instituer des expériences comparatives sur l'influence de quantités d'acide phosphorique à dose massive et à doses successives, devant atteindre la dose massive donnée la première année.

Le même raisonnement s'appliquerait à la potasse que le pouvoir absorbant du sol soustrait également à l'entraînement par la pluie. Si nous n'avons pas, en 1892, porté la dose de potasse à un chiffre supérieur à 200 kilogr. à l'hectare, c'est que nous voulions précisément étudier expérimentalement l'influence de l'appauvrissement successif du sol en ce principe, sur la production des pommes de terre. La dose convenable de potasse donnée en fumure de tête pour un assolement comprenant trois récoltes de pommes de terre en cinq ans, serait, à notre avis, pour un sol analogue à celui du Parc des Princes, de 500 kilogr. à l'hectare. Même avec cette quantité de potasse, la dépense de la fumure complète, répartie sur les cinq années, demeurerait inférieure à 100 fr. à l'hectare.

En 1897, les seize parcelles affectées aux essais permanents porteront du maïs-fourrage : elles auront reçu auparavant un complément de fumure potassique et du nitrate de soude. Il n'y sera pas introduit de nouvelle quantité d'acide phosphorique, les quantités de ce principe que renferme encore le sol étant largement suffisantes pour alimenter une nouvelle récolte.

La parcelle XXIX sera consacrée, en 1897, à l'étude expérimentale d'une question vivement débattue à l'étranger dans ces dernières années : celle de l'influence, sur leur valeur fertilisante, du degré de solubilité des scories dans le citrate d'ammoniaque acide préconisé par M. P. Wagner. Jusqu'à présent, nous demeurons absolument convaincus que la valeur vénale des scories doit être exclusivement établie sur leur teneur en acide phosphorique total et sur la finesse de la mouture. Le nombre des partisans de cette opinion va chaque jour en augmentant, et la vente des scories demeure basée, en France et en Belgique tout au moins, sur ces deux éléments d'appréciation et non sur leur solubilité dans le citrate.

C'est sur des expériences de laboratoire que repose jusqu'ici

l'affirmation contraire : nous avons pensé qu'il était utile de demander à des essais de pleine terre, sur une certaine échelle, une réponse décisive à cette question d'un intérêt très réel, tant pour l'agriculture que pour le commerce des engrais phosphatés.

SIXIÈME ANNÉE

Nature des fumures et récoltes en 1897.

Culture de maïs-fourrage. — En 1897, les parcelles I à XVI ont porté du maïs-fourrage (dent de cheval).

La parcelle XXIX a été consacrée à des essais sur les scories de déphosphoration de solubilité variable dans le citrate acide d'ammoniaque (réactif Wagner).

La diminution très marquée dans le rendement des pommes de terre, en 1896, comparativement à la production de la même variété (jaune de Hollande) en 1893, a paru devoir être attribuée en très grande partie à l'insuffisance de la fumure potassique qui n'a pas été renouvelée depuis la création du champ d'expériences (1892), et qui avait été de 1 571 kilogr. de kaïnite, correspondant à 200 kilogr. de potasse à l'hectare. On a décidé, en conséquence, de donner aux parcelles II à XV, en 1897, une nouvelle fumure potassique, sous la même forme qu'en 1892 (kaïnite), avant la semaille du maïs. Chacune des parcelles II à XV a été divisée en deux parties égales, dans le sens de la hauteur : la moitié de droite a reçu 400 kilogr. de potasse (à l'hectare), celle de gauche, moitié seulement (200 kilogr.).

Les parcelles II à VI et IX à XV ont reçu en même temps 45 kilogr. d'azote nitrique (300 kilogr. de nitrate à l'hectare).

Les parcelles VII et VIII, même dose d'azote, sous forme de sulfate d'ammoniaque et de sang desséché, comme les années précédentes.

L'épandage des engrais a été fait quelques jours seulement avant la semaille. Des pluies abondantes, survenues dans la huitaine qui a suivi la semaille, ont entravé la levée.

Le maïs a été semé le 4 mai au semoir Smith, à 40 centimètres

d'écartement entre les lignes. On a employé 95 kilogr. de semence (à l'hectare).

Les 13 et 14 août on a fauché la récolte qui a été immédiatement pesée avant tout fanage des tiges. Le tableau suivant indique le rendement de chacune des moitiés des parcelles II et XV et celui des parcelles témoins I et XVI, sans fumure depuis l'origine. Les rendements sont rapportés à l'hectare.

Maïs-fourrages 1897

NUMÉROS des parcelles	NATURE DES PHOSPHATES	POIDS DE LA RÉCOLTE en kilogrammes		DIFFÉRENCE en faveur de la partie fumée à 200 kilogr. de potasse
		A 200 kilogr. de potasse	A 400 kilogr. de potasse	
				kilogr.
I	Témoin (sans fumure)	21,500		
II. . . .	Somme, 45/50	42,466	41,066	1,400
III . . .	Ardennes	50,533	45,000	5,533
IV . . .	Boulonnais.	48,066	44,135	3,931
V. . . .	Indre.	44,800	40,456	4,344
VI . . .	Cambrésis	47,466	46,600	866
VII . . .	Scories et sulfate d'ammoniaque .	47,000	42,493	4,507
VIII . . .	Scories et sang desséché	40,400	33,300	7,100
IX . . .	Portugal.	54.000	50,000	4,000
X. . . .	Somme, 75|80	56.733	54,466	2,267
XI . . .	Floride	54,333	51,400	2,933
XII . . .	Scories et nitrate	53,200	48,533	4,667
XIII. . .	Scories anglaises	49.270	46,200	3,070
XIV . . .	Phosphate précipité	46,533	45,930	603
XV . . .	Superphosphate, ...	44,133	43,333	800
XVI . . .	Témoin (sans fumure)	24,900		

Le rendement moyen à l'hectare des parcelles qui ont reçu 200 kilogr. de potasse est de . . . . . 48 495 kilogr.

Celui des parcelles à 400 kilogr. de potasse est de. 45 208 —

Différence . . . . . 3 287 kilogr.

en faveur des parcelles qui n'ont reçu que 200 kilogr. de potasse.

Ces résultats confirment l'influence fâcheuse, déjà signalée, de l'épandage de sels potassiques à haute dose peu de temps avant la

semaille, influence que nous voulions vérifier par une expérience directe.

Le rendement moyen des témoins est de 23 200 kilogr. à l'hectare, en diminution de 25 295 kilogr. sur les parcelles à 200 kilogr. de potasse et de 22 008 kilogr. sur celui des parcelles à 400 kilogr. L'excédent moyen des quatorze parcelles fumées, sur les témoins, est de 23 652 kilogr. ; le rendement du sol à la fin de cette période de six années a donc un peu plus que doublé sous l'influence des engrais minéraux.

Influence des engrais azotés. — Comme les années précédentes, les parcelles VII et VIII ont été consacrées à comparer l'influence de la forme de l'azote de la fumure sur les rendements. Ces trois parcelles avaient reçu, en 1892, 300 kilogr. d'acide phosphorique à l'hectare, sous forme de scories de déphosphoration, et 200 kilogr. de potasse ; en 1897, on leur a donné, ainsi que nous venons de le dire, 200 et 400 kilogr. de potasse à l'état de kaïnite. L'azote a été fourni au sol, comme précédemment, à la dose de 45 kilogr. à l'hectare, sous forme de nitrate, de sulfate d'ammoniaque et de sang desséché (azote organique).

Les meilleurs résultats ont été obtenus, comme dans les cinq cultures précédentes, par l'emploi du nitrate de soude, ainsi que le montrent les comparaisons suivantes :

	NITRATE	
	200 kilogr. de potasse	400 kilogr. de potasse
	kilogr.	kilogr.
Parcelle XII (nitrate)	53,200	48,533
Parcelle VII (sulfate d'ammoniaque)	47,000	42,493
Différence en faveur du nitrate	6,200	6,040
Soit p. 100	11,65	12,44
Parcelle XII	53,200	48,533
Parcelle VIII (sang)	40,400	33,300
Différence en faveur du nitrate	12,800	15,233
Soit p. 100	24,06	31,4

Dans le sol du Parc des Princes, l'avantage est toujours resté au

nitrate dans la culture des céréales et des plantes sarclées, ainsi qu'on le constate en comparant la quantité totale de substance végétale produite dans les six années 1892-1897 (rendements à l'hectare) :

		PARCELLES		
		XII — Nitrate de soude — quint. mét.	VII — Sulfate d'ammoniaque — quint. mét.	VIII — Sang desséché — quint. mét.
Pommes de terre (1)		628,90	533,40	431,02
Blé	Grain	34,22	30,73	28,53
	Paille	76,35	64,37	57,28
Avoine	Grain	25,45	15,04	17,97
	Paille	63,20	42,88	56,23
Maïs géant (2)		508,60	447,00	368,50
		1 336,72	1 133,42	959,53

Si l'on égale à 100 la production totale dans la parcelle XII nitratée, la production de la parcelle VII au sulfate d'ammoniaque est de 84,79 et celle de la parcelle VIII, au sang desséché, de 71,79 seulement.

Le nitrate a donc produit : par rapport au sulfate, un excédent de récolte de 15,21 °/₀ ; par rapport au sang desséché, 28,21 °/₀.

Les essais de culture de 1897 ont eu pour objet de chercher à déterminer la valeur agricole de l'acide phosphorique des scories de déphosphoration et du mode de fixation du prix de cette matière qui occupe, à côté des autres engrais phosphatés, une place importante dans la fumure du sol, car la consommation de l'agriculture française s'élève annuellement à environ 150 000 tonnes de scories. La question qui se pose, et sur laquelle les avis des agronomes sont encore partagés, est celle-ci : les scories de déphosphoration doivent-elles continuer à être vendues, ainsi que cela a lieu aujourd'hui à peu près partout (sauf dans certaines régions de l'Allemagne) d'après leur richesse en acide phosphorique total, ou bien, comme l'a proposé M. P. Wagner, faut-il en baser le prix sur leur teneur en acide phosphorique soluble

1. Poids des tubercules récoltés dans les trois années 1892, 1893 et 1896.
2. Moyenne des récoltes sur les parcelles de 200 et de 400 kilogr. de potasse.

dans un réactif particulier, le citrate d'ammoniaque acide? Pour faire saisir l'importance de cette question aux personnes qui ne font pas des applications de la chimie à l'agriculture leur étude spéciale, quelques indications précises sur les conséquences de la solution qu'on lui donnera ne seront sans doute pas inutiles.

La teneur en acide phosphorique des scories varie dans des limites comprises assez généralement entre 15 et 20 °/₀ de leur poids : c'est la teneur réelle de cet engrais en acide phosphorique, teneur déterminée par l'analyse et garantie sur facture par le vendeur, conformément à la loi du 4 février 1888, qui doit servir de base à la fixation du prix des 100 kilogr. de scories. Une partie seulement de cet acide phosphorique est soluble dans le citrate acide, au contact duquel on l'agite pendant une demi-heure : c'est d'après la teneur centésimale d'une scorie en cet acide soluble que MM. Wagner et Mærcker ont proposé de fixer le prix de l'engrais, la solubilité dans le citrate étant regardée par eux comme devant donner la mesure du degré d'assimilabilité et, partant, d'efficacité de l'acide phosphorique des scories.

S'il était démontré que la valeur agricole d'une scorie est proportionnelle à sa teneur en phosphate soluble dans le citrate acide, il est clair qu'on pourrait trouver dans le dosage de ce dernier une base équitable pour les transactions; encore faudrait-il tenir compte, dans la fixation du prix, de la quantité d'acide phosphorique insoluble dont la proportion atteint et dépasse même souvent le quart ou la moitié de l'acide soluble. Ce mode de vente entraînerait des difficultés pratiques, mais on arriverait à les vaincre, si l'équité exigeait qu'on l'adoptât pour sauvegarder à la fois les intérêts du vendeur et ceux de l'acheteur.

Le point capital c'est d'établir d'une façon précise si, oui ou non, la solubilité dans le citrate donne la mesure de l'utilisation du phosphate des scories pour les récoltes. Avant qu'on se décide à modifier la base des contrats, il faut trancher la question par des expériences culturales assez nombreuses, méthodiquement suivies et suffisamment prolongées. Ces expériences doivent être nombreuses, parce que l'action exercée par le sol sur ces matières fertilisantes est variable d'un terrain à un autre ; il faut qu'elles soient méthodiquement sui-

vies pour écarter, autant que possible, les causes d'erreurs; enfin il est nécessaire de les prolonger pendant un temps assez long pour qu'on puisse constater si, une proportion plus ou moins grande, la totalité peut-être, de l'acide phosphorique, insoluble au début de l'essai dans le citrate acide, ne se montrera pas aussi assimilable, au bout d'un certain temps, que l'aura été l'acide soluble.

Les essais physiologiques de culture que MM. Petermann et Graftiau poursuivent depuis deux ans à la station de Gembloux ont abouti à des conclusions opposées à celles que MM. Wagner et Mærcker ont déduites d'expériences faites par eux à Darmstadt et à Halle dans des conditions analogues(1). Les résultats des expériences instituées par les soins de Meiss directeur de la station de Vienne, sur un grand nombre de points du territoire autrichien, indiquent que la moitié environ de ces résultats ont accusé une égalité dans les rendements obtenus avec les scories riches ou pauvres en acide soluble au citrate. La question n'est donc point résolue et de nouvelles observations sont nécessaires.

Au printemps de 1897, nous avons institué au Parc des Princes des expériences qui devront être poursuivies pendant plusieurs années avant d'en tirer des conclusions fermes. Mais, dans la pensée de provoquer sur d'autres points du pays des essais du même genre, nous allons indiquer les conditions dans lesquelles nous nous sommes placés et les résultats de la première année d'expériences qui prouvent combien il est prudent d'attendre avant de modifier le régime d'achat des scories.

La parcelle XXIX du champ du Parc des Princes a été consacrée à des essais comparatifs de scories de titres très différents en acide phosphorique total et en acide phosphorique soluble. Cette parcelle n'avait pas reçu de fumure phosphatée depuis six ans. En 1896, on ne lui avait donné aucun engrais; elle se trouvait donc dans des conditions favorables à l'étude de l'influence de l'acide phosphorique sur la récolte.

Dans les derniers jours d'avril 1897, on a délimité, dans la grande

---

1. Voir les expériences de Wagner, décrites, pp. 36 et suiv., t. I, 1897, et p. 432, t. II, 1897, des *Annales de la Science agronomique*.

parcelle XXIX[1], quatre parcelles de superficie égale. Nous les désignerons pour simplification par les lettres A, B, C, D. Chacune d'elles a reçu avant le labour les quantités suivantes, rapportées à l'hectare, d'acide phosphorique, d'azote et de potasse :

Acide phosphorique	150 kilogr.
Potasse [2]	200 —
Azote [3]	45 —

Les scories qui ont servi à donner l'acide phosphorique à ces quatre parcelles ont été choisies, à dessein, de teneurs très différentes en acide phosphorique soluble au citrate ; le tableau ci-dessous indique la richesse centésimale en acide phosphorique total et la teneur en acide phosphorique soluble au citrate ; la troisième colonne fait connaître la proportion centésimale d'acide soluble rapportée au taux d'acide total :

	ACIDE PHOSPHORIQUE		RAPPORT de l'acide soluble à l'acide total
	total	soluble au citrate	
	—	—	—
Parcelle A	21,12	7,93	37,50
— B	13,44	7,55	56,17
— C	18,69	12,41	66,39
— D	18,30	16,51	90,20

On a choisi, pour la plantation de ces parcelles, trois plantes appartenant à des familles végétales différentes : une graminée, maïs-caragua ; une légumineuse, haricots d'Alger ; une solanée, une pomme de terre (prince-de-Galles). Un tiers de chaque parcelle a été consacré à chacune de ces plantes. Le principe essentiel à tout essai de ce genre, à savoir qu'il ne faut faire varier qu'une seule des conditions de l'expérience, a été appliqué. Chacune des parcelles ayant reçu même quantité d'acide phosphorique total, d'azote et de potasse, la seule condition variable a été la proportion d'acide phosphorique soluble apporté par la scorie. L'écart entre les teneurs extrêmes des scories et ce composé était très grand : 52,7 %

1. Voir le plan du champ dans le tome I (2e fascicule) 1905 de ces *Annales*.
2. Sous forme de kaïnite.
3. A l'état de nitrate de soude.

[90,2 °/₀ — 37,5 °/₀] ; on pouvait donc s'attendre, si la relation établie par MM. Wagner et Mærcker entre la solubilité et l'assimilabilité du phosphate est réelle, à trouver des différences considérables dans les récoltes des trois plantes.

Le tableau ci-dessous indique les résultats des pesées faites immédiatement après l'enlèvement de la récolte de chaque plante (les récoltes sont calculées à l'are) :

		RÉCOLTES		
		Haricots	Pommes de terre	Maïs-fourrage
		—	—	—
		kilogr.	kilogr.	kilogr.
Parcelle A.	37,50 °/₀ soluble.	70 »	158,2	514
— B.	56,17 —	68,4	184,3	555
— C.	66,39 —	65,6	203,6	647
— D.	90,20 —	104,2	246,3	672
Témoins sans engrais.		27,8	78,3	361

Le premier fait qui ressort de la comparaison de ces chiffres, c'est la diversité des écarts que présentent les poids des récoltes suivant la nature de la plante cultivée. Examinons-les rapidement.

Haricots : la parcelle A a fourni, malgré le titre peu élevé de la scorie en acide phosphorique soluble, une récolte supérieure à celles de chacune des parcelles B et C : l'influence du taux d'acide soluble ne s'est manifestée, pour cette légumineuse, que dans la parcelle D, fumée avec une scorie à 90 °/₀ de soluble.

Pour la *pomme de terre* et pour le *maïs géant*, les choses se sont passées différemment : les rendements des parcelles ont été plus élevés à mesure que le taux de la scorie en acide soluble dans le citrate l'était lui-même, résultat qui semblerait favorable à l'opinion de P. Wagner. Mais si la présence d'acide soluble a coïncidé pour le maïs et pour la pomme de terre avec l'élévation des rendements, contrairement à ce qui s'est produit pour les haricots, il s'en faut que l'accroissement des récoltes ait été *proportionnel* à l'augmentation du titre en acide soluble des scories employées ; c'est ce que montre nettement le tableau suivant, dans lequel, prenant pour unité (égale à 100), les récoltes de haricots, de pommes de terre et de maïs obtenues dans la parcelle D, qui a reçu la scorie la plus riche en phosphate soluble (90,2 °/₀), se trouve indiqué le rapport centésimal

des teneurs des autres scories en acide soluble et celui des récoltes correspondantes :

		RÉCOLTES		
		Haricots	Pommes de terre	Maïs
		—	—	—
Parcelle D. . .	Scories à 90,20 °/₀	100 »	100 » .	100 »
— C. . .	— à 66,39	62,9	82,6	96,2
— B. . .	— à 56,17	65,6	74,8	82,6
— A. . .	— à 37,50	67,2	64,2	76,4

On est autorisé d'après cela à conclure que, même dans la première année de fumure, il n'y a entre la composition des scories et les récoltes qu'elles fournissent, aucune corrélation étroite à établir entre la solubilité de l'acide phosphorique au citrate acide et son assimilation par la plante.

Pour les haricots, la scorie à 37,50 °/₀ de soluble a donné une récolte plus élevée que la scorie à 66,4 °/₀. Pour le maïs, un écart de 23,8 °/₀, soit près du quart dans la teneur des scories des parcelles D et C, n'a produit qu'un excédent de récolte de 3,8 °/₀.

On est donc en droit de conclure qu'il n'y a pas lieu de modifier la base adoptée jusqu'ici pour l'achat des scories, et qu'il est prudent de s'en tenir à la fixation du prix d'après la teneur en acide phosphorique, en exigeant une garantie de finesse de mouture. Il ne faut pas d'ailleurs oublier que les scories à faible teneur en acide phosphorique soluble au citrate sont de beaucoup les moins nombreuses, au moins dans les produits des aciéries qui alimentent l'agriculture française. Les analyses accusent presque toujours 60 à 65 °/₀ d'acide phosphorique soluble, et très souvent 70 à 80 °/₀ et au-dessus.

Il n'y a donc, pour l'instant, rien de mieux à faire que de poursuivre expérimentalement l'étude de la question.

Comparaison des engrais phosphatés.

Quand on se trouve en présence de divergence dans les résultats culturaux observés par des expérimentateurs également habiles et consciencieux, il faut se garder, pour expliquer ces différences, d'invoquer, dans l'ignorance où nous sommes de leurs causes, la

possibilité d'exceptions qui, suivant le vieil adage, confirmeraient la règle : il n'y a pas d'exceptions, à proprement parler, dans les phénomènes naturels; il n'y a que des différences dans les conditions qui accompagnent la production des phénomènes. C'est à définir ces conditions qu'il faut s'attacher, afin d'en déduire les règles sur lesquelles le praticien devra s'appuyer. L'expérience seule peut conduire à la solution.

Dans son admirable *Introduction à la médecine expérimentale,* Claude Bernard, auquel on doit la démonstration éclatante de cette vérité, a posé le principe scientifique du *déterminisme,* dans des termes dont ne sauraient trop se pénétrer les expérimentateurs et en particulier les agronomes :

« Il faut admettre, dit-il, comme un axiome expérimental que chez les *êtres vivants aussi bien que dans les corps bruts, les conditions d'existence de tout phénomène sont déterminées d'une manière absolue.* Ce qui veut dire, en d'autres termes, que la condition d'un phénomène une fois connue et remplie, le phénomène doit se reproduire toujours et à la volonté de l'expérimentateur. La négation de cette proposition ne serait rien autre chose que la négation de la science même. En effet, la science n'étant que le déterminé et le déterminable, on doit forcément admettre comme axiome que, dans des conditions identiques, tout phénomène est identique et qu'aussitôt que les conditions ne sont plus les mêmes, le phénomène cesse d'être identique. Ce principe est absolu, aussi bien dans les phénomènes des corps bruts que dans ceux des corps vivants et l'influence de la vie, quelle que soit l'idée qu'on s'en fasse, ne saurait rien y changer. »

Les divergences d'opinion touchant la valeur alimentaire pour la plante de telle ou telle matière fertilisante, la difficulté de prévoir et d'évaluer à l'avance l'action des engrais sur les récoltes n'ont pas d'autre cause que l'ignorance, où nous sommes presque toujours, du déterminisme des conditions naturelles en face desquelles se trouve placé l'agriculteur.

Les facteurs de la production végétale, de même que ceux de la fertilité d'une terre, sont nombreux et variables d'une plante et d'un sol aux autres. L'expérience directe fondée, d'une part, sur la con-

naissance expérimentale aussi complète que nous pouvons l'acquérir des propriétés physiques et chimiques de la terre arable, de l'autre sur les exigences en principes nutritifs de la plante qu'on y veut cultiver. Voilà les éléments qui nous permettront, en tenant compte de la composition et de l'état des matières fertilisantes, de décider de la meilleure application à faire de ces dernières.

En ce qui touche les exigences minérales des plantes, nous sommes assez avancés pour prévoir les quantités de chacun des aliments que nous devons leur fournir pour obtenir des récoltes maxima. Si toutes les terres en culture avaient une constitution et une composition chimique identiques, le problème des hauts rendements serait singulièrement simplifié. Malheureusement, il n'en est point ainsi, et les cultivateurs sont en présence des sols les plus variés et dans lesquels les mêmes substances fertilisantes ne sont pas mises de la même manière à la disposition du végétal, d'où résultent des divergences parfois très considérables dans les rendements. Ces divergences ne sont point imputables au hasard; elles tiennent à l'absence de déterminisme des conditions de la végétation dans des sols différents et diversement fumés.

Ces réflexions s'appliquent tout particulièrement à l'étude du rôle de l'acide phosphorique dans la végétation ; des expériences multipliées dans des conditions bien définies et suffisamment prolongées pourront seules nous éclairer. On ne saurait trop encourager les agriculteurs à les tenter.

*
* *

Jetons maintenant un coup d'œil sur les poids bruts de substance végétale récoltés en six ans, sous l'influence des divers engrais phosphatés.

La seule condition variable des essais dans les cultures a été la nature ou l'origine de l'acide phosphorique donné au sol en quantités égales. Nous aurons, d'après cela, une vue d'ensemble sur les résultats obtenus, en les groupant sous quatre chefs : 1° phosphates minéraux ; 2° scories de déphosphoration ; 3° superphosphate ; 4° phosphate précipité.

Si l'on additionne les poids des six récoltes successives du Parc des Princes, en les rapportant à l'hectare, c'est-à-dire le nombre moyen de quintaux de pommes de terre (tubercules) [1], de grains, de paille (blé et avoine) et de maïs vert produits, de 1892 à 1897, et que l'on compare la somme trouvée à celle des récoltes fournies par les parcelles sans fumure durant la même période prise pour unité, voici les chiffres auxquels on arrive :

NATURE DES FUMURES	POIDS des récoltes par année moyenne à l'hectare	RAPPORTÉES à la récolte des témoins égale à 100
	quint. mét.	
Sans fumure	61,3	100
Phosphates minéraux	132,6	216
Scories de déphosphoration	131,5	214
Phosphate précipité	116,6	190
Superphosphate	114,0	186
Moyennes	123,7	201

De la comparaison de ces chiffres résulte la constatation de deux faits importants par les conséquences qu'ils peuvent avoir pour la mise en valeur et la culture des sols pauvres. On voit d'abord qu'une fumure dont le coût, par année moyenne, est inférieur à 100 fr. par hectare, ainsi que nous l'établissons plus loin, a plus que doublé, dans l'ensemble des cultures, les rendements du sol. En second lieu, dans le sol du Parc des Princes, *tous* les engrais phosphatés ont très largement contribué, quelle que soit leur nature, à l'accroissement des rendements, bien que les phosphates minéraux et les scories, dans cette terre siliceuse, pauvre en chaux, l'aient emporté sur les superphosphates et sur le phosphate précipité, résultat concordant avec les faits observés jusqu'ici dans des conditions analogues. *Tous* les engrais phosphatés se sont montrés très rémunérateurs.

Quelles ont été, dans cette période de six années, les quantités d'acide phosphorique, de potasse et d'azote consommées par les récoltes des parcelles fumées et par celles des cultures sans fumures? D'après les différences constatées dans cette comparaison,

1. Fanes non comprises qui ont fait retour au sol.

quelles quantités de principes minéraux ont servi à constituer les excédents de récolte dus à la fumure? Il suffit, pour obtenir des indications générales à ce sujet, de comparer les quantités d'acide phosphorique, de potasse et d'azote introduites dans le sol à celles des mêmes principes décelées par l'analyse dans les récoltes. Pour l'acide phosphorique et la potasse, les comparaisons peuvent être considérées comme rigoureuses, le sol étant la source unique de ces substances pour la végétation. En ce qui regarde l'azote : d'une part, la faculté qu'ont les végétaux d'en puiser dans l'air, soit directement, soit indirectement par l'apport des eaux météoriques, une quantité indéterminée, de l'autre, l'entraînement partiel de l'azote nitrique dans le sous-sol, par les pluies, ne permettent pas l'établissement d'un bilan aussi exact.

De 1892 à 1897, les poids d'acide phosphorique de potasse et d'azote contenus dans l'ensemble des récoltes ont été, en nombres ronds, les suivants (rapportés à l'hectare) :

	ACIDE phosphorique	POTASSE	AZOTE
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Récoltes fumées.	212	677	460
Récoltes sans fumure.	111	351	246
Dans les excédents de récolte.	101	326	214

Suivant toute apparence, les excédents d'acide phosphorique, de potasse et d'azote des récoltes fumées ont dû être empruntés aux engrais. Si l'on admet cette hypothèse très vraisemblable, la différence entre les quantités des trois principes fertilisants qu'a reçus le sol et celle que les excédents de récolte renfermaient, indiquerait les poids de chacun d'eux restant à la disposition des récoltes antérieures :

	ACIDE phosphorique	POTASSE	AZOTE
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Fumures données	300	400 [1]	210
Enlevés par les excédents de récolte. .	101	326	214
Différences.	+ 199	+ 74	— 4

1. 200 kilogr. en 1892 et 200 kilogr. en 1897.

Il résulte de cette comparaison que le sol du parc des Princes contenait encore, à la fin de l'année dernière, un approvisionnement notable en acide phosphorique importé en 1892 et une réserve beaucoup moindre en potasse ; les quantités d'azote exportées ont été sensiblement égales à celles que la terre a reçues, sous forme de nitrate de soude, pendant les six années de culture, la part due au rôle de l'azote atmosphérique n'étant pas susceptible d'évaluation.

On a donc, d'après cela, plus que doublé, de 1892 à 1897, les rendements du champ et accru notablement la teneur du sol en principes minéraux. Avec quelle dépense ces résultats ont-ils été obtenus et quelle a été, sur le prix de revient des récoltes, l'influence de la fumure ? Ces deux points ont une importance capitale pour les cultivateurs désireux d'améliorer un sol pauvre à l'aide des fumures minérales.

Établissons d'abord la dépense par année moyenne et par hectare, occasionnée par les fumures : nous ferons ensuite le compte des engrais pour chacune des cultures.

Le prix d'achat du kilogramme d'acide phosphorique a varié de 23 cent., dans les phosphates minéraux, à 25 cent. dans les scories, à 35 cent. dans le phosphate précipité et à 45 cent. dans le superphosphate.

Les 300 kilogr. d'acide phosphorique répandus en 1892 ont donc coûté, suivant qu'ils étaient fournis par l'une ou l'autre de ces matières phosphatées : 69 fr. 75, 105 fr. et 150 fr., ce qui correspond, par année moyenne, à 11 fr. 50, 12 fr. 50, 17 fr. 50 et 25 fr. à l'hectare, mais, pour simplifier l'exposé du résultat général de nos essais, n'admettons que deux prix pour les engrais phosphatés : 25 cent. et 50 cent. l'unité, soit une dépense initiale de 75 fr. et de 150 fr. à l'hectare pour la fumure phosphatée. Bien que les récoltes n'aient enlevé de 1892 à 1897, nous venons de le voir, que le tiers de l'approvisionnement donné au sol en acide phosphorique, nous affecterons entièrement la dépense à ces six années, ce qui, en augmentant notablement le prix de revient des excédents de récolte, donnera d'autant plus de force aux déductions économiques que nous tirerons des résultats obtenus.

Répartie sur les six années, la dépense en acide phosphorique a

donc varié de 12 fr. 50 à 25 fr. à l'hectare. La potasse, dans la kaïnite, est revenue à 45 cent. le kilogramme ; soit, pour 200 kilogr., 90 fr., ou 15 fr. par année moyenne (pour chacune des six récoltes) [1]. Enfin les 210 kilogr. d'azote nitrique, consommés en six ans, représentent au prix de 1 fr. 60 le kilogramme [2] une dépense de 336 fr., soit par hectare et par année moyenne, 56 fr. En récapitulant ces données, on arrive à l'évaluation suivante pour la dépense moyenne annuelle, par hectare :

	CAS des scories et des phosphates minéraux	CAS des superphosphates
Acide phosphorique	12,50	25
Potasse	15 »	15
Azote	56 »	56
Totaux	83,50	96

Quelle a été la rémunération de cette dépense de moins de 100 fr. à l'hectare ? C'est ce que va nous montrer l'évaluation du prix vénal des excédents de rendement qu'elle a produits, dans chacune des années écoulées de 1892 à 1897. Commençons par la pomme de terre.

1892. — **Pomme de terre industrielle Richter**. — La récolte a varié de 24 950 kilogr. à 25 210 kilogr. à l'hectare, valant 4 fr. 50 les 100 kilogr. Les excédents de rendement, par rapport aux récoltes des parcelles non fumées, ont été les suivants :

	POIDS de l'excédent	VALEUR en argent
	kilogr.	francs
1. Phosphates minéraux	14 432	649,50
2. Scories de déphosphoration	13 320	599,40
3. Superphosphate	14 470	651,15
4. Phosphate précipité	13 120	590,04

1. Cette quantité de potasse s'est montrée trop faible pour la troisième récolte de pommes de terre ; nous y reviendrons en étudiant la récolte de 1896.

2. Ce qui suppose les 100 kilogr. de nitrate de soude à 24 fr., prix très supérieur aux cours actuels (1897).

Le coût exact de la fumure, qui comportait 300 kilogr. de nitrate, était de 98 fr. 50 pour la parcelle n° 1, de 99 fr. 50 pour le n° 2, de 112 fr. pour le n° 3 et de 104 fr. 50 pour le n° 4. Le bénéfice et le prix de revient des excédents, dus à la fumure, ressortent donc aux chiffres suivants :

	VALEUR des excédents		FUMURE		BÉNÉFICES	PRIX de revient du quintal d'excédent
	—		—		—	—
	francs		francs		francs	francs
1. Phosphates minéraux .	649,50	—	98,50	=	551 »	0,682
2. Scories.	599,40	—	99,50	=	499,90	0,747
3. Superphosphate . . .	651,15	—	112 »	=	539,15	0,774
4. Phosphate précipité. .	590,04	—	104,50	=	485,54	0,796

1893. — **Pommes de terre culinaires (Jaune de Hollande).** — Un calcul identique conduit, pour la deuxième récolte de pommes de terre, estimée au prix très modique de 6 fr. les 100 kilogr., aux résultats suivants :

	VALEUR des excédents	PRIX de revient des 100 kilogr.
	—	—
	francs	francs
1. Phosphates minéraux	727,10	0,716
2. Scories.	735,10	0,715
3. Superphosphate	524,76	1,057
4. Phosphate précipité	608,90	0,878

On voit donc que, dans le cas qui s'est montré le moins favorable (superphosphate en 1893), le bénéfice résultant de la fumure, c'est-à-dire la valeur des excédents, a été encore de 468 °/₀ de la dépense en engrais, et que le prix de revient du quintal, vendu 6 fr., a excédé à peine 1 fr., soit le sixième de la valeur du produit. Ces exemples, que nous compléterons par l'appui des résultats tout aussi favorables obtenus dans la culture du blé, de l'avoine et du maïs-fourrage, sont la justification manifeste des conseils que nous avons toujours donnés aux cultivateurs, en les engageant à ne pas s'arrêter à la hausse des engrais phosphatés pour en ajourner l'emploi. Il ressort, en effet, clairement de ces exemples qu'une différence dans le coût de la fumure, de 12 à 15 fr. à l'hectare, écart maximum pouvant résulter de la hausse des phosphates sur les prix des dernières

années, ne correspond pas, dans le cas de la fumure la plus chère (superphosphate), à 3 °/₀ de la valeur de l'excédent de rendement (15 fr. pour un produit net de 525 fr. = 2 fr. 85 °/₀).

On ne saurait donc trop répéter aux cultivateurs qu'il est de leur intérêt le mieux entendu de faire au sol l'avance la plus large possible en matières fertilisantes ; ils trouveront dans les excédents de rendement qui en résulteront une rémunération dont ils n'auront qu'à s'applaudir.

*
* *

Le bénéfice sur un produit quelconque résulte, en agriculture comme dans toute industrie, de l'écart entre la valeur vénale et le prix de revient de ce produit.

Les éléments du prix de revient sont extrêmement complexes ; ils varient d'un lieu à l'autre avec la valeur de la matière première, les salaires, etc., etc. Il n'est pas possible d'établir, avec quelque chance d'être dans le vrai, un prix de revient moyen d'une denrée quelconque, applicable à un pays tout entier.

Le loyer de la terre, les charges qui pèsent sur elle, sa fertilité naturelle ou acquise au moment où l'on en entreprend l'exploitation, le capital à engager pour l'outillage, le bétail, la culture et la fumure présentent, suivant les régions et, souvent, d'une exploitation à une autre dans le même département, quand ce n'est pas dans la même commune, des différences considérables. Il suit de là qu'on ne saurait déduire du rapprochement et de la combinaison de ces divers éléments un chiffre qui représente pour le pays entier le coût de production du quintal de blé ou de viande, du litre de lait, de la tonne de fourrage ou de fumier.

Les affirmations relatives à un prix de revient moyen du blé, si souvent apportées à la tribune du Parlement, au cours des discussions sur les droits protecteurs, ne peuvent avoir la valeur qu'on voulait leur attribuer. Fixer à 25 fr., comme beaucoup d'orateurs l'ont fait, le prix de revient moyen du quintal de froment en France, ce qui amène logiquement à conclure que tous les cultivateurs sont en perte lorsque le cours du marché est inférieur à ce chiffre, c'est

à coup sûr une erreur. Une pareille généralisation est fautive. N'est-il pas évident, en effet, pour n'en donner qu'un exemple, que les cultivateurs qui, en 1896, ont obtenu, les uns, dans le Nord, 25 quintaux en moyenne, les autres, dans le Var et le Gard, 4 à 5 quintaux seulement, n'ont pas produit au même prix les 100 kilogr. de froment, quelque différents qu'aient été les frais de production? On ne se tromperait pas moins lorsque, partant de ce prix de revient hypothétique de 25 fr., on chercherait dans l'établissement des droits de douane une compensation aux charges, différentes d'un pays à l'autre, que supporte l'agriculteur. Qui d'ailleurs pourrait établir la quotité de ces charges et, par suite, la compensation à leur donner?

D'autre part, s'il était vrai que le prix de revient moyen du quintal de blé est, en France, de 25 fr., on devrait en conclure qu'en 1896, avec une récolte de 93 millions de quintaux qui nous a permis d'être, pour la première fois, exportateurs, le prix moyen général du quintal sur le marché français n'ayant atteint que 18 fr. 53, l'agriculture s'est trouvée en perte de 600 millions de francs, rien que sur sa production en froment!

Nous ne pensons pas qu'il se trouve personne pour soutenir qu'il en a été ainsi. La seule conclusion à retenir de ces remarques, c'est l'impossibilité de fixer, même dans des limites étendues, un prix de revient unique du quintal de blé. Cette fixation n'aurait d'ailleurs, à supposer qu'elle fût possible, qu'un intérêt de curiosité, chaque cultivateur devant, par la force des choses, en raison des variations considérables des situations, arriver à produire 100 kilogr. de blé — comme des autres denrées agricoles — à des prix de revient essentiellement différents. Ce qui importe, c'est de rechercher les moyens d'abaisser le prix de revient des produits du sol et d'en vulgariser la connaissance par des indications précises, à la portée des plus modestes cultivateurs. C'est la tâche que nous poursuivons depuis trente ans.

L'augmentation *économique* des rendements d'une surface donnée est la condition fondamentale de la diminution du prix de revient des produits du sol. Cette augmentation économique, réalisable à divers degrés, partout où les conditions physiques de la terre et le climat n'y mettent pas obstacle, dépend de divers facteurs que l'on peut

ramener à trois principaux : les opérations culturales, labours, mode de semailles, hersages, etc. ; le choix des semences et la fumure. Le rendement maximum est obtenu par le concours simultané de ces facteurs. Continuons l'exposé et la discussion des résultats de six années de culture expérimentale au parc des Princes.

Nous avons examiné l'influence des diverses fumures phosphatées sur le rendement et sur le prix de revient de la pomme de terre industrielle et culinaire (essais des années 1892 et 1893). Arrivons à l'année 1894, où le champ d'expériences a porté du blé roux hâtif d'Alsace, semé en ligne le 12 octobre 1893, à raison de 133 kilogr. à l'hectare et récolté le 18 juillet 1894. A la fumure fondamentale en phosphate et potasse, donnée en 1892, on a ajouté un nitratage à la volée, le 28 mars 1894, à la dose de 15 kilogr. d'azote (100 kilogr. de nitrate de soude à l'hectare). Le sol avait été débarrassé par deux cultures successives de pommes de terre (en 1892 et 1893) de toutes les mauvaises herbes : il était parfaitement propre. Les rendements en blé et en paille ont été très élevés, allant, pour le grain, de 27 à 43 quintaux à l'hectare ; pour la paille, de 89 à 148 quintaux.

Comme nous l'avons fait à propos des pommes de terre, nous grouperons les rendements en blé en quatre catégories, suivant la nature des engrais phosphatés, seule condition variable d'une parcelle à l'autre, tout le champ ayant reçu même quantité de potasse et de nitrate et même dose d'acide phosphorique d'origines différentes. Le coût des fumures pour chacune des catégories d'essais a été le suivant [1] :

	A L'HECTARE
Phosphates minéraux	51,50
Scories de déphosphoration.	51,50
Superphosphate	64,00
Phosphate précipité.	58,50

N'envisageons ici que les excédents de récoltes obtenus par l'in-

1. Les prix s'établissent sur les bases suivantes : pour les quatre séries d'expériences : 100 kilogr. de nitrate à 24 fr. et $33^{kg},3$ de potasse à 45 cent. (15 fr.) ; pour les deux premières séries, 50 kilogr. acide phosphorique à 25 cent., soit 12 fr. 50 ; pour le superphosphate, 50 kilogr. acide phosphorique à 50 cent., soit 25 fr. ; pour le phosphate précipité, 50 kilogr. acide phosphorique à 39 cent., soit 19 fr. 50.

fluence de la fumure (différences avec le rendement des parcelles témoins).

Ces excédents ont été les suivants pour chacune des catégories d'engrais phosphatés :

NATURE DE LA FUMURE	EXCÉDENTS A L'HECTARE grain	paille
	quint. métr.	quint. métr.
Phosphates minéraux. . . .	14,71	42,34
Scories de déphosphoration. .	13,58	38,07
Superphosphate	14,57	30,22
Phosphate précipité.	8,06	24,20

Comme dans les cultures de pommes de terre des années précédentes, les phosphates minéraux, les scories et le superphosphate ont produit des excédents de rendement, sur le sol sans fumure, à la fois très élevés et presque égaux. Le phosphate précipité s'est montré sensiblement inférieur aux autres formes d'acide phosphorique, bien que son action ait encore été marquée par une production supplémentaire de 8 quintaux de grain et de 24 quintaux de paille.

Il est aisé, en rapprochant du coût des engrais le nombre et la valeur vénale des quintaux de grain et de paille, d'évaluer le bénéfice résultant de la fumure et le prix de revient, réel cette fois, des 100 kilogr. de blé fournis en excédent sur la récolte du sol naturel non fumé. Admettant pour le quintal de grains le prix de vente de 20 fr., et pour la paille celui de 3 fr., la valeur des quatre récoltes s'établit comme suit :

	PHOSPHATES minéraux	SCORIES	SUPER-PHOSPHATE	PHOSPHATE précipité
	francs	francs	francs	francs
Grain	294,20	271,60	291,40	161,20
Paille	127,02	114,21	90,66	72,60
Totaux. . . .	421,22	385,81	382,06	233,80
A retrancher (1) . .	51,50	51,50	64 »	58,50
Restant . . .	369,72	334,31	318,06	175,30

qui représentent le bénéfice net résultant de l'action des engrais.

1. Coût des fumures.

La relation entre la dépense de fumure et la valeur vénale des excédents de récolte qui en a été la conséquence, montre combien est avantageux le placement que fait le cultivateur en donnant à ses terres un approvisionnement rationnel en substances fertilisantes. Les excédents de rendement ont produit pour une avance de 100 fr. en engrais : phosphates minéraux, 737 fr. ; scories, 649 fr. ; superphosphates, 530 fr. ; phosphates précipités, 299 fr. Dans ce dernier cas, de beaucoup le moins favorable, c'est encore un placement à 300 °/₀ que représente la fumure.

Envisageons maintenant le prix de revient des excédents. Des très nombreuses expériences que nous poursuivons depuis plus de vingt-cinq ans, tant dans nos champs d'essais que dans un domaine de grande étendue, nous avons tiré la conclusion que l'on peut couramment produire un quintal de blé avec sa paille, *en excédent sur la récolte du même sol non fumé,* avec une dépense de 4 à 8 fr., en engrais convenablement choisis. Cette affirmation, maintes fois revenue sous notre plume dans notre longue campagne de propagande, nous a valu parfois, de la part de certains publicistes, des critiques aussi acerbes que mal fondées. Dénaturant, volontairement ou non, la lettre et le sens de notre assertion, on nous a fait dire que nous prétendions produire du blé au prix moyen de 5 fr. le quintal ; il s'est même trouvé des associations agricoles et des commissions départementales pour nous *sommer* de réaliser cette utopie sur des exploitations mises gratuitement à notre disposition. En leur temps, nous avons répondu à ces attaques lorsqu'elles n'étaient pas trop discourtoises, mais nous avons repoussé les sommations qui nous étaient faites, nos détracteurs confondant, à plaisir, le prix de revient d'une récolte de blé prise dans son ensemble en un point quelconque du territoire et celui des quintaux de froment que l'on peut obtenir en excédent sur le rendement d'un sol sans fumure ou insuffisamment fumé. Nous verrons, tout à l'heure, quelle peut être la diminution du prix de revient de toute une récolte de blé et non plus seulement de l'excédent, sous l'influence de la fumure.

C'est du prix de revient des excédents seuls que nous avons jamais parlé, et nous allons montrer, par les résultats de notre culture de 1894 au parc des Princes, combien est fondée l'assertion relative à

la production d'un quintal de blé avec sa paille à un prix inférieur à 6 fr. C'est là le point essentiel dont nous voudrions que nos cultivateurs pussent se convaincre par des expériences instituées par eux dans leurs propres champs.

Dans les quatre conditions de fumures rapportées plus haut, le prix de revient du quintal de blé, en excédent, s'obtiendra en divisant respectivement le coût de la fumure par le nombre de quintaux qui dépasse le rendement des parcelles témoins sans engrais ; on aura ainsi :

Pour les phosphates minéraux . . $\frac{51^f,50}{14,71} = 3^f,50$

Pour les scories. . . . . $\frac{51^f,50}{13,58} = 3^f,79$

Pour le superphosphate. . . . . $\frac{64^f}{14,57} = 4^f,39$

Pour le phosphate précipité . . . $\frac{58^f,50}{8} = 7^f,31$

C'est donc au-dessous de 5 fr. que, du fait de la fumure seul, peut s'abaisser le prix de revient des quintaux de grain (avec leur paille) obtenus en excédent. C'est là tout ce que nous avons voulu prouver.

Quelle influence un semblable résultat peut-il exercer sur le produit net d'un hectare de blé ? Pour les raisons que nous avons données, la question ainsi posée n'est pas susceptible d'une réponse applicable aux emblavures de tout un pays, mais on peut cependant s'en faire une idée à l'aide d'un exemple choisi dans des conditions bien déterminées.

La comptabilité de l'école Mathieu-de-Dombasle nous a permis, il y a quelques années, d'établir le coût de la culture du blé à Tomblaine [1]. Nous étions arrivés, M. Thiry et nous, à en fixer le montant (fumure non comprise) à 268 fr. par hectare. Ce chiffre comprend le loyer de la terre, les frais de culture et de récolte et les frais généraux ; il est plutôt supérieur à la dépense moyenne dans une exploitation de Lorraine bien tenue. La production du blé dans des terres analogues à celle à laquelle se rapporte cette évaluation, et

1. Voir *Études agronomiques*, t. I, p. 138 et suivantes.

demeurées sans fumure depuis quelques années, atteint à peine 10 à 11 quintaux à l'hectare. Dans ces conditions, le prix de revient du quintal se rapproche du chiffre de 25 fr. cité à la tribune comme représentant le coût moyen des 100 kilogr. de froment en France. Il serait, en effet, de 24 fr. 40. Prenons-le comme point de départ arbitraire de la discussion. Si nous ajoutons à cette dépense de 268 fr. la somme de 51 fr. 50 pour engrais, la dépense totale à l'hectare montera à 319 fr. 50, soit, en nombre rond, 320 fr. Si, comme M. Thiry l'a obtenu à Tomblaine et nous, en 1894, au parc des Princes, la récolte atteint 25 quintaux à l'hectare, le prix de revient du quintal (paille comprise) se trouvera abaissé à 12 fr. 30 environ, laissant plus de 7 fr. de bénéfice sur le cours de 20 fr., et chacun des quintaux en excédent sur le rendement de 11 quintaux reviendra à 3 fr. 64 seulement.

Est-il besoin de dire que nous ne donnons à ces chiffres aucun caractère absolu? Ils ont seulement pour but de mettre hors de discussion deux faits de nature à encourager puissamment les cultivateurs dans l'emploi des engrais minéraux, à savoir : l'influence tout à fait prépondérante de l'élément fumure sur le rendement, toutes choses égales d'ailleurs, et l'erreur profonde dans laquelle on tomberait en renonçant, sous prétexte de la hausse des engrais phosphatés, à les appliquer sur une large échelle aux emblavures d'automne. Nous avons vu que l'acide phosphorique, en revenant aux prix de 1890, a subi, par rapport aux cours des années 1896 et 1897, une augmentation de 20 °/₀ environ, le kilogramme ayant passé de 40 centimes à 50; mais si l'on rapproche cette hausse du bénéfice réalisable par les excédents de récolte, bénéfice qui varie entre trois et sept fois la dépense en engrais, on conclura qu'elle est de peu d'importance au point de vue du résultat final et qu'elle ne doit en rien engager le cultivateur à restreindre ses fumures d'automne.

En accord avec les faits les mieux constatés dans la pratique, les expériences du parc des Princes prouvent, une fois de plus, que 300 kilogr. de scories ou de superphosphate titrant 15 à 16 °/₀ d'acide phosphorique, associés, si le sol le réclame, à 30 ou 40 kilogr. de potasse et complétés, dans leur action, par l'épandage de

100 à 150 kilogr. de nitrate de soude au printemps, constituent une fumure pour blé économique et tout à fait rémunératrice. Si les sols qu'on destine aux emblavures d'automne sont très pauvres en azote, il y a une pratique assez répandue déjà et dont nous nous trouvons très bien depuis plusieurs années dans un grand domaine de Lorraine : elle consiste à ajouter, avant la semaille, aux engrais phosphatés et potassiques, 60 à 80 kilogr. de sulfate d'ammoniaque à l'hectare. On assure par là une vigueur assez grande aux jeunes céréales pour que leur développement les prépare à supporter les rigueurs de l'hiver.

Une alimentation suffisante est, pour les plantes comme pour les animaux, la première et la plus essentielle des conditions à remplir si l'on veut obtenir du sol des rendements capables de laisser entre le prix de revient des produits et leurs cours sur le marché un écart vraiment rémunérateur. C'est la conclusion que les propriétaires par leur exemple, les publicistes par leurs conseils, doivent s'efforcer de faire pénétrer dans la petite et la moyenne culture, trop disposées encore à méconnaître les importantes vérités que l'expérience a mises en évidence.

Station agronomique de l'Est.

Paris, juillet 1906.

L. Grandeau, L. Bartmann.

ANALYSE ET CONTRÔLE

DES SEMENCES FORESTIÈRES

DES STATIONS D'ANALYSE ET DE CONTRÔLE

DES SEMENCES FORESTIÈRES

PRESCRIPTIONS TECHNIQUES — MÉTHODES D'ANALYSE — RÈGLEMENTS

PAR M. A. FRON

Les graines forestières, aussi bien que les graines agricoles, sont l'objet d'un commerce important, tant en France qu'à l'étranger, et ce commerce a besoin d'un contrôle. D'autre part, la qualité d'une semence saine et d'aspect extérieur normal peut être extrêmement variable, suivant l'époque et l'ancienneté plus ou moins grande de la récolte, les conditions et procédés de conservation employés, et aussi suivant une foule de causes qui dépendent du lieu d'origine de la graine, du sujet qui a fourni cette graine, des procédés de récolte et de désarticulation, etc.

Nous ne pouvons, dans l'étude qui va suivre, nous étendre sur les causes qui sont susceptibles de faire varier depuis la qualité zéro jusqu'à la qualité parfaite une graine d'apparence non suspecte. Nous renverrons à ce sujet à la publication de M. Thil [1] sur les graines résineuses, aux nombreux articles publiés par M. Schribaux

---

1. A. Thil, « Achat, récolte et préparation des graines résineuses employées par l'administration des forêts » (*Revue des Eaux et Forêts*, 1884)..

dans les revues agricoles (1), aux nombreux travaux du professeur Dr Nobbe, particulièrement à son important ouvrage sur les semences (2) et aux intéressantes observations du Dr Karl von Tubeuf sur les semences forestières (3).

De même, en ce qui concerne la haute importance économique de l'essai des graines, nous ne pouvons que renvoyer au remarquable rapport sur le commerce des graines forestières, présenté par le conseiller intime Dr Nobbe au congrès de la Société de dendrologie forestière tenu à Dresde en 1899 (4); aux publications allemandes du professeur Dr Schwappach d'Eberswalde (5) et du Dr Rodewald à Kiel (6); aux publications de M. Johannes Rafn de Copenhague (7); au rapport de M. Pierret sur la station d'expériences du domaine forestier des Barres-Vilmorin (8).

Nous négligerons complètement, ou tout au moins nous ne parlerons que d'une façon accessoire des essais de graines agricoles. Nous nous bornerons, après une description rapide des plus importantes stations d'essai de semences forestières existant actuellement en France et à l'étranger, et après un aperçu comparatif des résultats acquis, à déduire de cette étude les prescriptions techniques qui nous paraissent devoir être appliquées aux essais de germination des graines forestières exécutés en France.

---

1. *Botanique agricole,* par E. Schribaux et J. Nanot. Paris, 1903 (chapitre consacré aux semences).

2. *Handbuch der Samenkunde,* von Dr Friedrich Nobbe. Berlin, 1876.

3. *Samen, Früchte und Keimlinge der in Deutschland heimischen oder eingeführten forstlichen Culturpflanzen.* Berlin, 1891.

4. « Ueber den forstlichen Samenhandel » von geheimen Hofrath. Professor Dr Nobbe (*Tharander forstliches Jahrbuch,* 49 Band, 3 Heft. Dresden, 1899).

5. « La Station d'essai de graines forestières d'Eberswalde », par le professeur Dr Schwappach (*Revue dendrologique* de Beissner, janvier 1903).

6. « *Zur Methodik der Keimprüfungen,* von Dr H. Rodewald » aus den landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen, 1889.

7. « Etwas über Samenuntersuchungen und die forstlichen Samenhandel », von Johannes Rafn (*Mitteilungen der deutschen dendrologischen Gesellschaft,* n° 9, 1900, et n° 10, 1901, et *Die Gehölz-Samenuntersuchungen der Saison 1902-1903,* von Johannes Rafn. Kjöbenhavn, 1903.

8. *Bulletin du Ministère de l'agriculture,* 9e année, n° 6. Paris, 1890.

Nous pensons en effet que, soit qu'il s'agisse d'expériences exécutées dans un but de contrôle, soit qu'il s'agisse de recherches scientifiques, les essais de germination doivent toujours être exécutés d'une manière méthodique nettement définie ; c'est, à notre avis, le seul moyen d'obtenir en la matière des résultats susceptibles d'être comparés les uns aux autres, et susceptibles aussi d'être mis en parallèle avec ceux qui sont obtenus à l'étranger.

Généralités

Les essais de semences reposent sur trois principes :

1° Avant de mettre une semence en terre, il est indispensable de savoir si elle est susceptible de germer ; autrement dit, il faut connaître combien il y a de sujets susceptibles de se développer dans un lot de graines qu'on veut utiliser. Le nombre rapporté à cent de graines susceptibles de germer est ce qu'on appelle le *coefficient de faculté germinative*.

2° Les semences livrées par le commerce sont toujours mélangées d'une quantité plus ou moins grande d'impuretés (débris d'écailles, pierrailles, fragments de terre, graines cassées ou notoirement détériorées, graines étrangères et débris de toute nature) que les procédés les plus parfaits ne permettent pas d'éliminer ou qu'on ne s'est pas donné la peine de séparer. Pour se rendre compte de la valeur d'une fourniture (généralement vendue au poids), il est nécessaire de connaître la proportion d'impuretés contenues dans la livraison. Si dans un poids P de la semence livrée il existe un poids I d'impuretés, la proportion $\frac{P - I}{P}$ est ce qu'on appelle le *coefficient de pureté*.

Remarquons que la véritable valeur marchande d'une fourniture est liée à deux facteurs indépendants l'un de l'autre, la pureté d'une part et la faculté germinative d'autre part. Le produit de ces deux coefficients est ce qu'on appelle la *valeur culturale* d'une semence.

3° Une graine mise en terre peut germer dans des conditions normales, variables il est vrai suivant les espèces et les situations, mais

telles que le jeune végétal né de la graine est susceptible de prendre pendant une saison de végétation son développement normal. Dans nos climats, pour la majorité des plantes agricoles, ce développement normal va jusqu'à la maturité et la dissémination de la semence ; pour les graines forestières, ce développement normal est atteint lorsque le jeune végétal est suffisamment lignifié pour supporter les rigueurs de l'hiver et lorsqu'il a en outre emmagasiné dans ses tissus une provision suffisante d'éléments de réserve pour repartir, c'est-à-dire développer ses premiers organes verts au début de la saison de végétation suivante.

Une graine qui manque de vitalité, dont la jeune plantule commence à se développer trop tard, peut n'être plus susceptible de prendre pendant le restant de la saison de végétation son développement normal ; le végétal issu de cette graine est alors sans avenir.

On appelle *énergie germinative* la caractéristique des semences à cet égard.

Ces principes ont été posés par le professeur Dr Nobbe, qui, dès 1869, faisait créer à Tharandt (Saxe) la première station d'essai de semences, et, de l'avis même du professeur Dr Schwappach (1), « c'est l'administration forestière française qui, la première, est entrée dans la voie de l'essai systématique des graines forestières, en créant, en 1872, au domaine national des Barres, une station d'expériences pour soumettre à des essais minutieux aussi bien les graines achetées au commerce que les graines provenant des sécheries domaniales ».

Depuis, les établissements de ce genre se sont multipliés ; il a été fondé dans presque tous les États d'Europe, ainsi que dans l'Amérique du Nord, des stations d'essai de semences dont le nombre ne cesse de s'accroître. Il est à remarquer, toutefois, que si les agriculteurs ont donné à ces essais, avec beaucoup de succès d'ailleurs, une extension de plus en plus grande, « les forestiers, de leur côté, n'ont en général apporté dans les débuts à cette question capitale qu'une attention bien moins sérieuse (1) ». Aussi est-ce seulement

1. *Revue dendrologique* de Beissner, janvier 1903.

dans le cours de ces dernières années, au vu des résultats acquis pour les semences agricoles [1], qu'on a senti la nécessité de réformer le marché des graines forestières, afin d'obtenir des produits meilleurs et moins chers ; comme conséquence, nous voyons l'établissement suisse de Zurich prendre une immense extension [2] ; nous voyons l'Autriche créer en 1889, à Mariabrünn, un laboratoire spécial d'essai de graines forestières ; un peu plus tard, en 1899, c'est l'Allemagne qui crée à Eberswalde une station spéciale d'essai de graines forestières. Ainsi peu à peu s'organisent et se généralisent les essais de graines forestières, et il n'y a pas de raison pour que le propriétaire forestier qui récolte ou qui achète des semences forestières ne vienne pas, comme le fait déjà l'agriculteur, s'adresser aux stations d'analyse et de contrôle des semences. Il le fera lorsqu'il sentira ces établissements suffisamment outillés pour lui fournir rapidement des résultats exacts [3].

---

1. M. Schribaux constate que c'est grâce à l'influence et au contrôle des stations d'essai de semences que la qualité des semences fourragères s'est grandement améliorée dans l'espace d'une quinzaine d'années, et qu'en même temps les prix ont notablement diminué (E. Schribaux et J. Nanot, *Botanique agricole*, p. 101).

2. Du 1er juillet 1902 au 30 juin 1903, l'établissement suisse de Zurich a essayé 10 274 échantillons, dont 2 184, soit 21,3 °/₀ de graines forestières, et on lit dans le compte rendu annuel de cette station que la plus grande partie de la récolte de graines des pins de l'Europe, récolte dont la valeur est de plusieurs millions de francs, est essayée dans cet établissement.

3. Nous relevons au bulletin de la Société forestière française des amis des arbres (1er trimestre 1906) la phrase suivante dans une lettre adressée par le directeur d'une section forestière scolaire du Cantal au président de la société :

« ....Les graines (pin sylvestre sans doute) que vous avez bien voulu m'adresser, il y a deux ans écoulés, *n'ont pas levé ; je n'ai pas trop su pourquoi....* » Rien ne prouve que la graine semée n'était pas vieille, et par suite incapable de germer. — Rien ne serait plus facile que de mentionner sur toute étiquette, outre le nom de la graine, le pour-cent de germination avec la date de l'essai ; ces deux renseignements sont, à notre avis, aussi indispensables l'un que l'autre.

PREMIÈRE PARTIE

STATIONS D'ANALYSE ET DE CONTRÔLE DES SEMENCES FORESTIÈRES

I. — STATIONS ALLEMANDES

L'idée dominante en Allemagne a toujours été de protéger l'agriculteur contre les fraudes, en instituant dans le domaine d'action des stations agronomiques un service de contrôle ; aussi existe-t-il dans ce pays un très grand nombre d'établissements qui ont pour mission de contrôler les engrais, les fourrages, les semences et d'effectuer les recherches utiles à l'agriculture.

En 1900, d'après le professeur Nobbe [1], ce service était assuré par soixante-neuf stations agronomiques en activité ; trente-cinq de ces stations mentionnaient dans le programme de leurs travaux le contrôle des semences, et parmi elles un certain nombre seulement s'occupaient des semences forestières.

Pour atteindre leur but de contrôle d'une façon pratique, il fallait à ces nombreuses stations des méthodes uniformes ; il fallait tout d'abord, dit le professeur Nobbe, « établir des méthodes spéciales d'analyses dans les diverses directions et les rendre très précises *en répétant toujours la même épreuve avec un matériel identique* ». Aussi, dès l'année 1875, a eu lieu à Gratz la première assemblée des directeurs des stations d'essai de graines, où l'on a pris des dispositions pour arriver à l'identité des méthodes et des principes. Ce groupement, nécessaire aussi dans les autres branches du contrôle agricole, a été définitivement établi par la fondation à Weimar, en 1898, du *Verband der landwirtschaftlicher Versuchs-Stationen im deutschen Reiche.*

---

1. *L'Agriculture allemande à l'exposition universelle de Paris,* Bonn-s.-Rh., 1900. Rapport présenté par le conseiller intime professeur Nobbe sur le « Développement et l'état actuel du service des expériences agricoles de l'empire d'Allemagne ».

En matière d'essais de semences, le *Verband* a établi pour toute l'Allemagne un véritable code [1], composé d'une série de prescriptions techniques ayant pour but de rendre les expériences précises et absolument comparables les unes aux autres.

Les deux stations les plus importantes au point de vue de l'essai des graines forestières en Allemagne sont :

La station de Tharandt (Saxe) ;

La station d'Eberswalde (Prusse).

Station d'essai de semences de Tharandt [2]

La station royale de physiologie végétale et de contrôle de semences de Tharandt a été fondée en 1869 par le syndicat agricole du cercle de Dresde ; elle a été reprise par l'État en 1875 et augmentée en 1886 d'une section jardinière. Elle s'occupe de recherches de physiologie végétale, de l'étude et du contrôle des semences, tant agricoles que forestières, et des questions de bactériologie.

La station est annexée à l'académie forestière de Tharandt, dans les bâtiments de laquelle elle est installée ; elle possède un laboratoire de chimie et de physiologie, une serre chaude pour les expériences de physiologie végétale, une installation complète pour l'étude et le contrôle des semences et enfin un jardin botanique important.

En ce qui concerne le contrôle des semences, les essais sont effectués sous la direction du directeur de la station et sous la surveillance d'un des assistants ; la préparation des lots de semences à mettre en germination, la détermination du coefficient de pureté et les différentes manipulations relatives à la mise en expérience des échantillons sont effectuées par des jeunes filles dressées à ce travail

---

1. *Technische Vorschriften des Verbandes landwirtschaftlicher Versuchs-Stationen im deutschen Reiche fur die Samenprufungen.* Paul Parey, Berlin. 1903.

2. D'après le *Rapport sur le développement et l'état actuel du service des expériences agricoles dans l'empire d'Allemagne,* présenté à l'exposition de 1900 par le conseiller intime professeur Dr Nobbe, et les renseignements qu'a bien voulu nous fournir le Dr Nobbe en nous faisant visiter la station de Tharandt.

spécial et payées par la station ; les comptages sont confiés à un préparateur chargé de les effectuer tous les jours à des heures déterminées.

La moyenne annuelle du nombre des analyses effectuées dans cet établissement s'élève à environ huit cents, dont seulement trente à quarante par an concernent les graines forestières.

Le matériel de la station comprend comme parties essentielles :

1° Une collection complète de graines, y compris les graines forestières ; cette collection, richement installée dans une des salles de la station, compte environ trois mille échantillons, classés par genres et par espèces d'après le système d'Endlicher ; chaque genre est numéroté et catalogué. A cette collection est jointe une collection de fruits, de semences et de cônes, généralement conservés dans des bocaux en verre ;

2° Une balance de précision au milligramme et une balance au centigramme, ainsi que les appareils de pesées ordinaires ; la balance au centigramme est employée pour les expériences courantes dans lesquelles on se contente de pesées faites au décigramme ;

3° Deux étuves à température constante et à régulateur de température ;

4° Tous les appareils et accessoires nécessaires pour la manipulation des semences, parmi lesquels nous noterons : des cuvettes en porcelaine pour la mise en expérience des buvards de germination ; du papier buvard spécial pour germinateurs ; un jeu complet de tamis (système Nobbe) ; une sonde pour le prélèvement des échantillons et divers instruments nécessaires pour faciliter les opérations du nettoyage, du pesage, du séchage et pour maintenir le degré d'humidité voulu sur les germoirs pendant la durée des expériences ; enfin les registres, armoires à échantillons et tables de manipulations ;

5° Des terrines remplies de sable, pour la mise en germination des grosses graines telles que glands, faines, etc., qu'on place pendant la durée de l'expérience dans la serre chaude destinée aux expériences de physiologie végétale.

Les essais de germination sont exécutés conformément aux pres-

criptions techniques de l'Union des stations agricoles de l'empire allemand. Nous n'avons donc à nous occuper ici que de la détermination de la faculté germinative, afin de décrire le procédé utilisé à Tharandt.

L'appareil employé est l'étuve à température constante du Dr Nobbe, modifiée par l'annexion des tubes à air chaud système Schribaux ; les graines de chaque échantillon d'expérience sont disposées dans un germoir en papier buvard spécial ; deux germoirs sont placés dans une cuvette en porcelaine dont le fond est garni d'un double papier buvard, et les cuvettes sont alignées sur les plateaux de l'étuve. A Tharandt, l'une des étuves est généralement réglée à 20° centigrades et l'autre à 30° centigrades.

Pour l'usage, l'étuve est entourée d'une enveloppe en bois qui diminue la déperdition de chaleur ; enfin, de temps en temps et selon les besoins, tout l'appareil est désinfecté au formol.

Notons ici que le papier buvard employé, préalablement stérilisé, doit être humecté de telle sorte qu'il renferme environ 60 °/₀ de l'eau totale qu'il pourrait absorber à saturation. Dans la pratique, on obtient ce résultat en mouillant à saturation le germoir avec de l'eau stérilisée et en le laissant reposer ensuite quelques instants sur un coussin de buvard sec. Lorsque les semences sont ainsi disposées dans l'étuve, il suffit de maintenir le degré d'humidité constant pendant toute la durée de l'expérience ; pour cela, l'opérateur qui fait les comptages arrose légèrement toutes les vingt-quatre ou les quarante-huit heures les buvards à l'aide d'une pipette ; une certaine pratique lui apprend à juger à peu près exactement de l'humidité du germoir au simple toucher.

La surveillance des échantillons mis en expérience se fait tous les jours, ainsi que les comptages. Quant à l'aération, nécessaire aussi à une bonne germination, elle est réglée dans l'étuve à l'aide de deux ventilateurs disposés sur les parois latérales.

Les prescriptions techniques indiquent de prendre pour la conduite d'une expérience quatre lots de cent graines ; le professeur Nobbe place deux à deux ces lots dans deux cuvettes distinctes, au lieu de placer ses quatre échantillons dans une même cuvette, parce qu'il peut y avoir accidentellement excès ou insuffisance d'humidité

dans une des cuvettes d'expérience [1] et qu'en opérant comme nous venons de l'indiquer il est plus sûr d'obtenir une moyenne d'expérience exacte.

Il nous reste à expliquer comment le professeur Nobbe a été conduit à adopter le chiffre de 60 °/₀ d'humidité que nous avons donné précédemment.

Ce chiffre de 60 °/₀, qui représente à son avis le degré d'humidité le plus favorable, a été déterminé d'après les résultats d'une longue série d'expériences dans lesquelles, toutes choses égales d'ailleurs, on a fait varier le degré d'humidité. Dans ces expériences, la quantité d'eau contenue dans le papier buvard, autrement dit l'humidité du germoir, a été mesurée à l'aide de pesées ; ces pesées, faites dans l'étuve elle-même, ont permis de constater la déperdition en eau des germoirs au cours de l'expérience et par suite de déterminer la quantité d'eau qu'il était nécessaire de leur rendre pour maintenir constant le degré d'humidité. Actuellement, l'expérimentateur sait que, dans les conditions où il opère, il doit, toutes les vingt-quatre ou les quarante-huit heures, ajouter sur son papier buvard un nombre donné de centimètres cubes d'eau ; un appareil très simple à siphon, composé d'un long tube gradué rempli d'eau mis en communication avec une pipette, lui permet d'arroser périodiquement ses germoirs dans les conditions voulues. Cette manière de régler l'humidité du germoir, très exacte, mais trop longue, n'est plus employée à Tharandt, en raison de l'expérience des opérateurs, sauf pour les recherches scientifiques.

Le professeur Nobbe, qui depuis 1869 s'occupe à Tharandt des essais de semences, a depuis longtemps créé ou utilisé d'autres types de germoirs ; nous citerons par exemple le godet en terre poreuse dit germinateur Nobbe ; nous citerons aussi un germinateur rempli de sable stérilisé qui est arrosé comme le papier à filtre et sur lequel on place les graines d'expérience. Aujourd'hui, à Tharandt, il emploie de préférence, notamment pour la mise en germination des graines forestières, le papier buvard, et il en préconise

1. Un excès d'humidité est très à redouter dans les expériences de ce genre, et tend à diminuer le pour-cent de germination.

l'emploi, considérant « que le papier buvard, si on a soin de le manier d'après les règles des prescriptions techniques, est d'une manipulation facile, propre et très nette, et qu'il permet de se rendre compte plus rapidement et sans hésitation du résultat d'une épreuve » (1).

Station d'essai de semences forestières d'Eberswalde (2)

La station d'essai de semences forestières d'Eberswalde a été créée en 1899 comme section de la station centrale de l'académie forestière d'Eberswalde, pour s'occuper des essais demandés par les propriétaires particuliers et les commerçants ; elle est provisoirement installée dans les locaux affectés aux bureaux forestiers du Dr Schwappach, forstmeister attaché comme professeur à l'académie forestière, et un brigadier de bureau est spécialement chargé du contrôle des semences ; elle ne dispose d'aucun crédit permanent ; des crédits spéciaux lui sont affectés lorsque les besoins l'exigent et les recettes (produit des analyses) sont versées dans la caisse du Trésor.

Les essais sont exécutés conformément aux « prescriptions techniques de l'Union des stations agricoles de l'empire allemand ». L'appareil employé est la caisse à germination du Dr Cieslar, modifiée par le professeur Schwappach.

L'appareil du professeur Cieslar, actuellement utilisé à la station autrichienne d'essai de semences de Mariabrünn, se compose d'une solide caisse de zinc à section horizontale carrée dont le fond est formé d'une seule feuille de zinc fort, et dont les parois latérales S sont doubles ; l'espace compris entre les parois est rempli par un corps mauvais conducteur de la chaleur, des cendres par exemple. La paroi antérieure de la caisse est plus basse que la postérieure, afin que le couvercle soit incliné ; ce couvercle est mobile et peut

---

1. *Anträge des Ausschusses fur Samenprüfungen*, aus den landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen-Organ von Nobbe, 54e vol., 1900, p. 53-56.

2. D'après le compte rendu du professeur Dr Schwappach sur la station (*Revue dendrologique* de Beissner, janvier 1903) et les renseignements qu'a bien voulu nous donner à Eberswalde le professeur Schwappach, directeur de la station.

être relevé ; il est formé de deux glaces enchâssées dans un châssis de tôle et séparées par une couche d'air qui joue le rôle de corps isolant.

Le fond de la caisse est couvert d'une couche de sable fin, lavé et calciné, d'environ 3 centimètres d'épaisseur, couche sur laquelle on place des plateaux d'argile ; l'humidification du sable est obtenue au moyen d'un canal à eau couvert K qui entoure extérieurement la base de la caisse ; ce canal est alimenté par l'extérieur et quatre tubes R conduisent l'eau du canal dans l'intérieur de la caisse. Pour mouiller le sable, on n'a qu'à verser de l'eau dans une des ouvertures d'alimentation ; veut-on au contraire le laisser se dessécher ? il suffit d'ouvrir un tube de vidange et de laisser couler l'eau autant qu'on le désire. L'aération intérieure est assurée par deux ouvertures situées sur les parois latérales ; enfin, un thermomètre permet de connaître la température intérieure de la caisse sans qu'il soit nécessaire de l'ouvrir.

La germination s'effectue sur des plats d'argile qu'on place dans l'appareil sur la couche de sable, et dans lesquels on met les graines d'expérience.

Un simple support soulève l'appareil et permet de le chauffer en dessous soit avec une petite rampe à gaz, soit simplement à l'aide de veilleuses.

Les dimensions de l'appareil en usage à Mariabrünn permettent d'y mettre en expérience simultanément trente-six plateaux, qui peuvent contenir chacun cent graines d'essences résineuses ordinaires telles que celles des pins, épicéas et mélèzes.

A Eberswalde, l'appareil employé lors de la fondation de la station a été celui que nous venons de décrire, et l'établissement en possède deux qui sont installés dans les bureaux forestiers, c'est-à-dire dans des pièces habitées et chauffées normalement ; la température des caisses à germination est maintenue entre 20° et 25° centigrades à l'aide de petites lampes à alcool qu'on place par intermittence sous les appareils. Afin de grouper plusieurs de ces appareils dans des conditions identiques, le professeur Schwappach a fait construire une étuve dont la disposition générale est la suivante : l'étuve est identique à celle du professeur Nobbe, mais chacun des plateaux

l'étuve Nobbe a été remplacé par un petit appareil Cieslar aplati et simplifié ; chacun de ces petits appareils, d'une hauteur totale de 20 à 25 centimètres, s'introduit dans l'étuve comme on y introduisait les anciens plateaux, et chacun d'eux renferme un grand nombre de petits plats d'argile qui reposent sur du sable humide, comme dans l'appareil Cieslar.

Cette étuve, placée dans une salle habitée et par suite régulièrement chauffée, conserve très longtemps la même température, et il suffit d'allumer de temps en temps une petite lampe à alcool placée à la partie inférieure de l'appareil pour élever ou maintenir la température de l'étuve au degré voulu ; un cône renversé en métal, échauffé par la lampe, dirige l'air chaud vers les tubes Schribaux qui garnissent les parois latérales de l'étuve, afin d'assurer l'uniformité de la température dans toutes les parties de l'appareil.

Avec cette étuve, le professeur Schwappach obtient des résultats rapides et très comparables les uns aux autres. Nous insisterons toutefois sur un point qui à notre avis est essentiel : pour que des appareils de ce genre puissent fonctionner, il est nécessaire que les plats d'argile sur lesquels reposent les graines soient préparés avec le plus grand soin et offrent un degré de porosité identique dans toutes leurs parties ; pour cela ils ne doivent être faits qu'avec une argile très pure, soigneusement triée et susceptible de donner à la cuisson une matière très homogène et suffisamment poreuse ; autrement dit, la préparation de ces plateaux doit être, dans le commerce, une spécialité en quelque sorte garantie par la maison qui les livre. A Eberswalde, lors de l'installation de la station en 1889, le professeur Schwappach a fait exécuter ses plats d'argile en Allemagne ; dès le début, il n'a obtenu avec ses appareils que de très mauvais résultats : la porosité des germoirs était tellement différente que, toutes choses égales d'ailleurs, deux échantillons de la même graine placés côte à côte donnaient des écarts inadmissibles. Après de patientes recherches, M. Schwappach a dû admettre le procédé suivant : avant de se servir des germoirs qui lui sont fournis, il les plonge pendant dix jours dans une solution acide, puis il les lave avec grand soin et les laisse sécher ; c'est seulement après avoir fait subir à ses germoirs une telle préparation qu'il peut obtenir des résultats comparables

entre eux. Avec des terres poreuses d'origine française que nous avons eu l'occasion d'essayer, nous avons éprouvé les mêmes difficultés, et nous pensons qu'il est de toute nécessité de s'assurer d'une façon très minutieuse de la qualité des plats d'argile qu'on achète au commerce, et de vérifier avec le plus grand soin leur parfaite porosité, avant de les employer dans des expériences de germination.

Il nous reste à dire quelques mots du fonctionnement et de la clientèle de la station.

Le fonctionnement de la station d'essai est défini par un règlement qui a été revisé le 9 février 1904 et dont le texte a été publié dans le *Deutsche Forstzeitung,* n° 23 du 5 juin 1904 ; dans ce règlement, les instructions relatives aux essais sont conformes aux prescriptions techniques. Il est intéressant de constater qu'à Eberswalde, comme dans tous les établissements similaires, le nombre des échantillons de graines forestières mis en expérience a été en progression rapide au fur et à mesure que la station était plus connue ; le tableau suivant donne un relevé de ces chiffres :

	ANALYSES		
	complètes	payantes	gratuites
Pendant l'exercice 1900 il a été exécuté . . .	44 dont	31	13
— 1901 — . . .	52	39	13
— 1902 — . . .	109	61	48
— 1903 — . . .	174	118	59

Quant à la clientèle de la station, elle comprend aujourd'hui d'une part les propriétaires forestiers et les négociants en semences forestières et d'autre part les services forestiers de l'État.

Les propriétaires forestiers en Prusse, de même d'ailleurs que les agriculteurs, ont reconnu avec raison qu'ils sont mieux servis et à meilleur marché lorsqu'ils s'adressent au commerce par commandes groupées que lorsqu'ils agissent isolément ; aussi ont-ils pris l'habitude de se grouper en syndicats agricoles, en *Landwirtschaftskammern,* et de centraliser leurs commandes de graines forestières [1] ; c'est alors le

1. Nous lisons dans le compte rendu de la station suisse d'essai de semences de Zurich (1903, p. 4) les lignes suivantes : « Nous devons reconnaître que l'activité de

syndicat qui achète en bloc les semences forestières demandées; ces achats sont faits à la condition que les graines livrées seront soumises aux essais de germination à Eberswalde, aux frais du fournisseur, dans les conditions prévues par un contrat passé entre le syndicat d'une part et les principaux fournisseurs de semences d'autre part. En vertu de ce contrat, les commandes particulières, transmises par le syndicat au marchand de graines, sont exécutées par ce dernier, qui doit adresser directement dans un délai convenu chaque fourniture de graines au propriétaire qui l'a demandée; une fois les livraisons faites, le syndicat désigne à son choix, sans l'intervention du fournisseur, parmi les acheteurs qu'il a représentés, 12 à 20 °/₀ de ceux-ci, et il leur fait envoyer à la station d'Eberswalde un échantillon des fournitures qu'ils ont reçues, afin de faire contrôler les garanties données par le vendeur. Nous avons trouvé dans le n° 23 du *Deutsche Forstzeitung*, 5 juin 1904, les conditions du contrat passé entre le syndicat forestier de la chambre agricole de Poméranie et les maisons de commerce de graines forestières pour les livraisons de semences du printemps 1904 (1); les contrats de ce genre, rédigés sous forme d'avis sur feuilles isolées, servent en même temps de catalogue et de prix courant, et sont adressés à tous les membres du syndicat.

Le service forestier de l'État prussien a tout d'abord considéré que l'essai des graines provenant de l'administration était suffisamment assuré par les organisations existantes; aussi, d'après le professeur Schwappach, la station d'Eberswalde ne s'occupait-elle, dans la période de ses débuts, qu'à titre tout à fait exceptionnel des graines destinées aux forêts de l'État; peu après, le développement effectif

---

notre station n'aurait pas pris un si grand essor si nous n'avions pu nous appuyer sur l'esprit d'association, très développé dans la Suisse allemande. Les associations agricoles sont la condition nécessaire pour le développement et l'activité d'une station d'essai de semences. » — Ces associations syndicales existent en France pour l'achat des engrais, de certaines semences agricoles, quelquefois même de semences forestières (syndicat agricole du Loiret), mais on ne les voit pas se généraliser et prendre l'extension qu'ils ont en Allemagne et dans la Suisse allemande. Une plus grande activité de ces syndicats serait désirable à tous égards dans notre pays.

1. « Bekanntmachung betreffend den Bezug von Waldsamen ». *Deutsche Forstzeitung*, n° 23, 5 juin 1904.

de la station a naturellement amené le service forestier à la prendre de plus en plus en considération, et l'on s'est vite décidé à y avoir recours toutes les fois que les essais exécutés par les agents eux-mêmes révélaient une qualité germinative inférieure à celle qui avait été garantie. L'expérience n'a pas tardé à prouver que les résultats obtenus par des expérimentateurs isolés, souvent mal outillés pour assurer l'invariabilité indispensable de la température et de l'humidité, étaient presque toujours trop faibles ; aussi l'extension du service de la station a-t-elle été reconnue nécessaire ; par une circulaire en date du 20 avril 1904 (1), le ministre de l'agriculture, des domaines et des forêts du gouvernement royal de Prusse a prescrit au service forestier d'effectuer les acquisitions de graines de pin et d'épicéa d'après les règles adoptées par la station d'Eberswalde et de faire contrôler à cette station les garanties données par les fournisseurs.

Si nous nous reportons aux dix années d'hésitation qui ont précédé la création de la station d'essai de semences forestières d'Eberswalde, puis aux progrès rapides effectués et à l'extension donnée à cet établissement en l'espace de quatre années, extension couronnée en 1904 par la mesure que nous venons de signaler, nous pouvons dire qu'une création de ce genre a répondu en Prusse à un besoin réel, et que l'établissement d'Eberswalde est appelé à centraliser d'ici peu tous les essais de semences forestières exécutés dans le royaume de Prusse, tant dans l'intérêt de l'État que dans celui des propriétaires particuliers et des négociants en semences forestières.

II. — STATIONS SUISSES

Il existe en Suisse deux stations d'essai de semences, la station de Lausanne, de création récente, qui s'occupe plus spécialement des

1. « Verfügungen des Ministeriums für die Landwirtschaft, Domänen und Forsten an die königlichen Regierungen. — Keimproben des aus Samenhandlungen bezogenen Samens, Runderlass, n° 18, 1904 » (*Deutsche Forstzeitung*, n° 23, 5 juin 1904).

graines agricoles, et la station de Zurich dont la fondation remonte à 1878, qui s'occupe aussi bien des graines agricoles que des graines forestières. Ces deux stations dépendent directement du département fédéral de l'agriculture ; elles ont pour but de mettre à la portée du commerce et du propriétaire foncier le moyen d'arriver à un contrôle sûr et officiel des diverses semences récoltées ou utilisées.

Nous devons signaler ici le souci qu'a pris le ministre d'agriculture suisse de donner de plus en plus d'extension au service de la station de Zurich au fur et à mesure de ses besoins ; ce développement, qui a porté pendant des années aussi bien sur le local et l'outillage de la station que sur le personnel, était une conséquence logique de l'augmentation du nombre des analyses ; mais il a eu aussi pour effet de donner une vigueur incontestable à cet établissement et de ne pas enrayer sa marche en avant, si bien qu'aujourd'hui on peut lire dans le compte rendu officiel de la station que la plus grande partie de la récolte des graines de pins de l'Europe, récolte dont la valeur est de plusieurs millions de francs, est essayée à Zurich. Il est intéressant de noter ce fait, aujourd'hui où l'on semble disposé dans divers pays à donner plus d'attention que par le passé à l'essai des graines forestières.

Station d'essai de semences de Zurich (1)

La station d'essais de semences de Zurich fonctionne d'une façon officielle depuis 1878 ; elle a été fondée sur l'initiative du professeur Dr Stebler, d'après les principes posés dès 1869 en Allemagne par le professeur Dr Nobbe.

Elle s'occupe de l'essai de toutes les graines, aussi bien des graines agricoles que des semences forestières et, depuis sa fondation, c'est-à-dire en l'espace de vingt-cinq ans, elle a plus que décuplé le nombre de ses analyses annuelles ; le fait est intéressant à remarquer ;

1. D'après les comptes rendus officiels annuels de la station de Zurich et les renseignements qu'ont bien voulu nous fournir sur place M. le Dr Stebler, directeur de l'établissement et M. le Dr Volkart.

il résulte des chiffres suivants que nous extrayons du vingt-cinquième compte rendu de cet établissement [1].

ANNÉES	NOMBRE d'analyses	ANNÉES	NOMBRE d'analyses
1877-1878	885	1890-1891	4 849
1878-1879	1 056	1891-1892	5 543
1879-1880	1 358	1892-1893	5 958
1880-1881	1 465	1893-1894	6 049
1881-1882	1 792	1894-1895	6 857
1882-1883	1 809	1895-1896	6 937
1883-1884	1 883	1896-1897	7 268
1884-1885	1 877	1897-1898	8 462
1885-1886	2 247	1898-1899	8 440
1886-1887	2 740	1899-1900	9 231
1887-1888	3 150	1900-1901	10 257
1888-1889	4 009	1901-1902	9 686
1889-1890	4 601		

Enfin, pour 1902-1903, le nombre d'analyses a été de 10 274.

Notons ici que les essais de la station comportent soit des analyses directes, soit des contre-analyses (analyses de contrôle); le nombre des premières est toujours plus élevé que celui des dernières; pendant les deux derniers exercices, les essais effectués à Zurich se décomposent ainsi :

	1901-1902	1902-1903
Analyses directes	7 208	7 977
Contre-analyses	2 437	2 257
Expériences personnelles	41	40
Total	9 686	10 274

Sur ces essais, plus de 20 °/₀ concernent les graines forestières; nous relevons en effet les chiffres suivants :

1. Die Schweiz-Samenuntersuchungs- und Versuchsanstalt in Zürich. Technischer Bericht vom 1 Juli 1901 bis 30 Juni 1902, von F. G. Stebler, Eugène Thiélé, A. Volkart und A. Grisch (aus dem *Landwirtschaftlichen Jahrbuch der Schweiz*, Zurich 1902).

Pendant l'année 1901-1902, les 9 686 essais ont porté sur 154 espèces de graines différentes dans les proportions suivantes :

	ESPÈCES	ESSAIS
Graines agricoles.	111	7 536
Graines forestières	43	2 150

soit 22,2 °/₀ du nombre des essais portant sur les graines forestières.

Pendant l'année 1902-1903, les 10 274 essais ont porté sur 164 espèces de graines différentes dans la proportion suivante :

	ESPÈCES	ESSAIS
Graines agricoles.	116	8 090
Graines forestières	48	2 184

soit 21,3 °/₀ du nombre des essais portant sur les graines forestières.

Il est intéressant de relever pour l'année 1902-1903 le nombre détaillé des envois faits à la station de Zurich ainsi que celui des expéditeurs ; ce détail nous est fourni par le tableau suivant :

CANTON OU PAYS	ENVOIS DE :			EXPÉDITEURS :		
	Marchands	Consommateurs	Ensemble	Marchands	Consommateurs	Ensemble
Suisse (chiffres groupés pour les divers cantons).	1 532	2 192	3 724	94	181	275
Étranger (chiffres groupés pour les divers pays)	6 342	168	6 510	276	26	302
Total.	7 874	2 360	10 234	370	207	577
Expériences personnelles.			40			
			10 274			

Il résulte du tableau précédent que pendant l'exercice 1902-1903 la station d'essai de semences de Zurich a exécuté 10 274 essais dont

3 724 pour la Suisse et 6 150 pour l'étranger et que le nombre des personnes qui ont adressé des échantillons à analyser à Zurich est de 275 pour la Suisse et de 302 pour l'étranger.

La décomposition des chiffres précédents en ce qui concerne les expériences faites pour l'étranger est la suivante :

PAYS	NOMBRE D'ENVOIS EXÉCUTÉS par			NOMBRE DE PERSONNES ayant envoyé des échantillons		
	des marchands	des consommateurs	Ensemble	Marchands	Consommateurs	Ensemble
Prusse	1 617	51	1 668	90	13	103
Hesse	1 528	10	1 538	10	2	12
Angleterre	821	»	821	31	»	31
Bavière	485	21	506	15	2	17
France	427	10	437	26	2	28
Autriche	422	13	435	28	2	30
Écosse	153	52	205	4	1	5
Hongrie	150	5	155	9	2	11
Hollande	116	»	116	5	»	5
Belgique	114	»	114	7	»	7
Irlande	107	»	107	2	»	2
Wurtemberg	98	6	104	15	2	17
Russie	98	»	98	11	»	11
Amérique du Nord	75	»	75	2	»	2
Danemark	55	»	55	9	»	9
Italie	38	»	38	5	»	5
Bade	24	»	24	5	»	5
Mecklembourg	14	»	14	2	»	2
Total	6 342	168	6 510	276	26	302

Les maisons de commerce, qui ont un très grand nombre d'essais à faire exécuter pour se rendre compte chaque année de la valeur de leurs marchandises et pour pouvoir livrer avec garantie leurs fournitures, passent généralement avec les stations d'essai des contrats spéciaux, afin de bénéficier d'un tarif réduit. Sur cent quarante-cinq maisons de toute nationalité qui ont passé un contrat de ce genre avec l'établissement de Zurich pour l'exercice 1902-1903, nous avons relevé les noms de dix-huit maisons françaises.

Pour terminer ces considérations générales, nous empruntons à

M. le Dr Stebler l'appréciation suivante (1) : « Les expéditions de marchands et de producteurs ont augmenté pendant ces vingt-cinq années de partout et spécialement de l'étranger, et les comparaisons annuelles faites à ce sujet suffisent à montrer dans quelle large mesure la station de Zurich est prise en considération par l'Allemagne, l'Angleterre, l'Autriche-Hongrie, la France, etc., et combien elle a su mériter la confiance des producteurs et des marchands de ces pays.

« En ce qui concerne le pays lui-même, le nombre des essais directs et des contre-analyses s'est élevé aussi dans une très grande proportion; agriculteurs et syndicats nous envoient de plus en plus des échantillons à examiner pour savoir si la pureté, la faculté germinative, etc. de leurs fournitures sont bien conformes aux garanties qui leur sont données par le marchand. Les relevés faits à ce sujet à Zurich pendant les vingt-cinq années de fonctionnement de cette station sont significatifs; il résulte en effet de leur comparaison que dans la première période de cinq années, 22,2 °/₀ des contre-vérifications donnaient un résultat ne s'accordant pas avec la garantie; dans la deuxième période de cinq années, il n'y en avait plus que 15,3 ; dans la troisième 13,7 ; dans la quatrième 10,7 et enfin dans la cinquième période de cinq années 9,7 °/₀ seulement. Ces chiffres montrent combien le contrôle exercé par les stations d'essai a amélioré les conditions générales du commerce des graines; il montre aussi qu'aujourd'hui l'acheteur est bien plus sûr d'être servi consciencieusement que jadis, parce que grâce à l'activité de la station, la qualité moyenne des semences soumises aux essais s'est considérablement améliorée. »

Le règlement en vigueur à la station de Zurich a été élaboré par la commission de surveillance des établissements fédéraux d'essais et d'analyses agricoles dans sa séance du 29 mai 1903; il a été approuvé et publié à Berne le 10 juin 1903 par le département fédéral de l'agriculture. Il concerne la surveillance du commerce des engrais, des fourrages, des semences et des autres produits utilisés par l'agriculture et les industries qui s'y rattachent. Nous y signalerons en ce

1. *Compte rendu officiel*, 1901-1902.

qui concerne les essais de semences, les prescriptions du titre I relatives à la surveillance du commerce des semences et aux analyses de contrôle, prescriptions qui sont contenues dans les paragraphes suivants :

§ 11. — Maisons contrôlées et contrats de contrôle ;

§ 12. — Garanties à fournir par les maisons contrôlées en vertu du contrat de contrôle ;

§ 13. — Analyses gratuites et certificats de contrôle ;

§ 14. — Prélèvement et envoi des échantillons ;

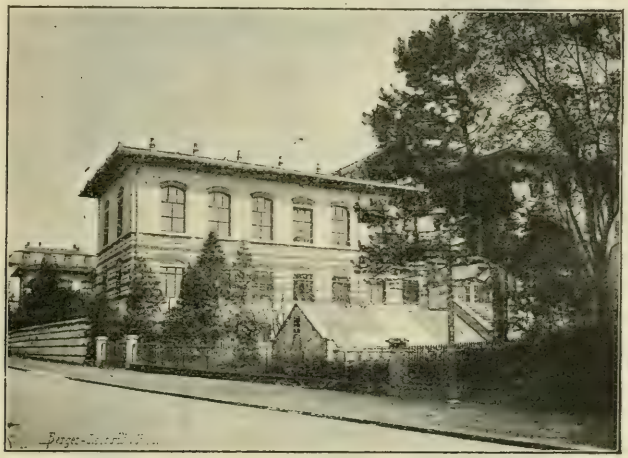


Fig. 1

§ 15. — Résultats d'analyses ;

§ 16. — Réclamations ;

§ 17. — Indemnités.

Nous y signalerons en second lieu les prescriptions du titre II relatives aux analyses directes, sur envoi d'échantillons.

Il nous reste maintenant à décrire l'installation de la station et à parler sommairement des méthodes d'analyse employées.

La station d'essai de semences de Zurich est très confortablement installée dans l'aile gauche du bâtiment de l'Institut chimique, annexe du Polytechnicum de Zurich (fig. 1) ; des locaux spéciaux sont affectés aux bureaux, aux collections, à la préparation et à la mani-

pulation des échantillons, à l'installation des appareils de germination et à toutes les opérations nécessaires pour le bon fonction-

Fig. 2

nement des appareils. Nous noterons dans une visite rapide : le bureau de la comptabilité, situé à côté de celui du directeur de la

Fig. 3

station, dans lequel se trouve classée une très importante collection de graines de toute espèce, tant agricoles que forestières ; une grande

salle très éclairée, où s'opèrent le triage et le comptage des échantillons, ainsi que les différents pesages (fig. 2 et 3) ; un certain nombre de petites salles où les ouvrières ne travaillent que deux à deux et sont affectées aux travaux spéciaux (détermination du coefficient de pureté, mise en germoirs, etc.) ; une salle affectée au nettoyage et à la stérilisation, au séchage des germoirs, ustensiles et objets employés pour les expériences ; une salle à étuves, une serre chaude pour les expériences de germination et enfin une bibliothèque.

Le matériel de la station comporte les appareils à germination, balances, thermomètres, pinces, spatules, plateaux, plaques et capsules en verre, etc., outils et accessoires de tout ordre en nombre suffisant pour la manipulation et la mise en expérience de tous les échantillons.

Le personnel attaché à cette station se compose d'un directeur chef du service, auquel sont adjoints trois assistants pour diriger et surveiller les opérations, et d'un nombreux personnel auxiliaire composé de jeunes filles qui effectuent sous la direction des assistants toutes les manipulations des échantillons, des appareils à germination ainsi que les comptages.

La marche des expériences est à peu près conforme à celle qui est indiquée par les prescriptions techniques pour les stations allemandes. Nous noterons toutefois que le nombre de graines employées pour un essai est de 400 ; l'échantillon d'expérience est divisé en deux lots de 200 graines et, si à la fin de l'expérience les comptages accusent une différence de plus de 5 °/₀ entre les deux résultats, l'essai est recommencé.

La durée de l'expérience de germination est de trente jours au maximum pour l'épicéa, le pin sylvestre et les graines analogues ; pour le pin Weymonth elle est illimitée.

Avant la mise en expérience, on procède pour un certain nombre de graines à un trempage préalable, mais nous n'avons pas connaissance d'un règlement fixe établi à ce sujet ; toutefois, il est d'usage à Zurich d'agir de la façon suivante :

Pour le pin sylvestre on ne procède pas à un trempage préalable ;

Pour l'épicéa on procède à un trempage de vingt-quatre heures dans de l'eau à la température de la salle ;

Pour le mélèze on procède à un trempage de quarante-huit heures dans de l'eau à la température de la salle ;

La durée du trempage est comptée dans le temps affecté à l'essai de germination.

Nous n'avons pas ici à entrer dans les détails accessoires des diverses manipulations et nous devons nous contenter de décrire les appareils employés.

Nous avons dit précédemment que la station procédait à l'essai des graines agricoles aussi bien qu'à celui des graines forestières. A Zurich, des appareils spéciaux sont employés pour ces deux catégories d'expériences.

Pour l'essai de germination des graines agricoles, on se sert de l'étuve à température constante du professeur Dr Nobbe modifiée par l'addition des tubes Schribaux.

Dans cette étuve, que nous avons déjà vue à Tharandt et à Eberswalde, se trouvent des plateaux remplis d'eau sur une épaisseur de 1 centimètre environ sur lesquels on place les godets Nobbe en terre poreuse très homogène ; c'est dans ces godets qu'on dépose avec soin les graines à mettre en expérience ; grâce à la porosité des godets, les graines se trouvent naturellement maintenues au degré d'humidité jugé nécessaire. Notons ici que la stérilisation des godets est assurée de la façon la plus sérieuse ; après chaque expérience le godet contaminé est transporté dans la salle des nettoyages ; là il est fixé sur une plate-forme susceptible de tourner horizontalement autour de l'axe vertical qui la supporte ; ce mouvement de rotation est donné par un petit moteur à eau. Lorsque le godet est en mouvement, l'ouvrière préposée au nettoyage le gratte avec une pierre ponce de façon à l'user également dans toutes ses parties et à lui donner ainsi une surface absolument neuve. Après cette première préparation, le godet est passé dans un autoclave et stérilisé à la vapeur d'eau sous pression ; enfin il est séché dans une grande étuve. Ces précautions, sur lesquelles nous insistons à dessein, montrent avec quel soin doivent être faites les diverses manipulations dans les stations d'essai de semences, si l'on ne

veut pas être exposé à avoir des résultats entachés d'erreurs accidentelles [1].

Nous retrouverons l'emploi de ces germoirs en terre poreuse pour l'essai de germination de quelques graines forestières très légères, comme l'aune et le bouleau.

Essai des graines forestières

L'essai de germination des graines forestières est fait sur papier buvard dans une serre chaude où la température est maintenue d'une façon constante à 25 degrés centigrades environ. Les appareils employés varient suivant qu'il s'agit des graines du pin sylvestre, des graines de la plupart des autres conifères communes, des graines ou semences d'aune et de bouleau, et enfin des semences d'un certain nombre d'arbres feuillus tels que le chêne et le hêtre.

1° Essai de la graine de pin sylvestre. — L'appareil employé pour les essais de germination de la graine de pin sylvestre dont, d'après le Dr Stebler, la germination se produirait mieux à la lumière, est celui du Dr Jacobsen, de Copenhague [2]. Les graines à essayer reposent sur une rondelle de papier buvard de 8 centimètres de diamètre environ; cette rondelle est placée elle-même sur deux autres rondelles de même diamètre en laine faites au crochet [3]; l'ensemble repose sur une petite assiette en aluminium perforée en son centre d'une ouverture circulaire correspondant à celles des rondelles. L'humidité est transmise à l'appareil par une mèche en coton qui est fixée d'une part aux rondelles de laine, et qui plonge d'autre part dans une cuve à eau. Enfin, une petite cloche en verre, percée d'une

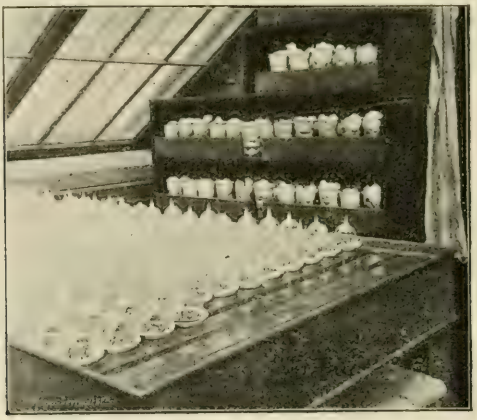
---

1. Des moisissures de toute espèce sont susceptibles de se développer dans un lot de graines mis en germination. Si ces moisissures proviennent de causes indépendantes des graines mises en expérience, elles modifient de suite, d'une façon très fâcheuse, la marche normale de l'essai.

2. L'appareil de Jacobsen a été inventé et construit en Danemark par un Danois, Chr.-P. Jacobsen : il est utilisé à la station d'essais de semences de Copenhague pour les espèces de graines qui germent vite, comme par exemple le pin sylvestre.

3. Ces rondelles sont découpées ou faites à Zurich par les jeunes filles de la station.

ouverture à sa partie supérieure pour assurer l'aération des graines, recouvre le tout et repose par sa base sur l'assiette d'aluminium.

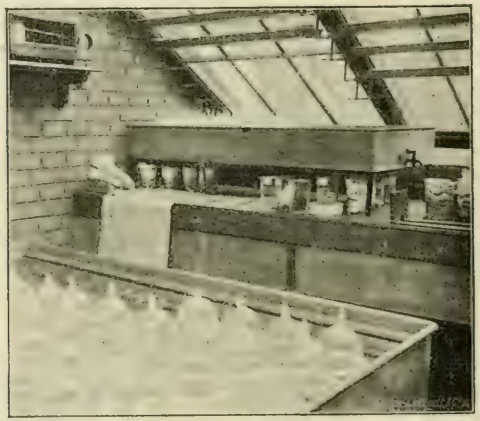


b

Fig. 4

b) Germoirs en papier buvard pour la germination de la majorité des graines de conifères.

Disons pour compléter cette description qu'un grand nombre de ces appareils sont disposés sur des plaques de verre formant en



a

a

Fig. 5

a) Appareils danois de Chr.-P. Jacobsen pour la germination des graines de pin sylvestre.

quelque sorte le couvercle d'une grande caisse en zinc remplie d'eau, et que ces plaques de verre ne sont pas complètement juxtaposées,

de façon à permettre le passage des mèches de coton qui vont puiser dans l'eau de la cuve l'humidité nécessaire à chaque série de rondelles.

Cet ensemble, qui constitue l'appareil à germination de Jacobsen (fig. 4 et 5), est placé dans la serre chaude à température constante. La cuve à eau repose elle-même sur quatre pieds, de telle sorte que si la température de la serre s'abaisse au-dessous de 25 degrés centigrades, il suffit de placer sous cette cuve une petite flamme d'alcool pour maintenir la température de l'eau et par suite de l'ensemble du système au degré voulu.

Notons enfin qu'au début de l'expérience on stérilise dans l'eau bouillante les rondelles de laine et de papier buvard ; dans le cours de l'expérience on compte les graines germées environ tous les deux jours et on profite de ces opérations pour repasser les rondelles de laine à l'eau bouillante et même pour les changer, ainsi que le papier buvard, s'il y a lieu.

Avec les soins minutieux qui sont facilement donnés à Zurich, cet appareil donne d'excellents résultats.

2° Essai des graines de la plupart des autres conifères. — Pour les sapins, un grand nombre de pins, l'épicéa, le mélèze, etc., l'appareil employé est un simple germoir en papier buvard maintenu humide dans la serre à température constante. A cet effet, une feuille de papier buvard spécial est pliée en deux et repliée ensuite sur les trois bords libres de façon à former un germoir fermé dans lequel on place un des échantillons d'expérience.

Plusieurs de ces germoirs ainsi préparés et numérotés sont superposés dans un vase en verre rempli d'eau et maintenus sous l'eau à l'aide d'une petite presse en verre ; on les laisse ainsi tremper le temps nécessaire, soit peu de temps (une heure environ) soit deux ou plusieurs jours, suivant les graines. Après ce trempage, les germoirs sont retirés de l'eau et déposés sur des feuilles épaisses de papier buvard sec afin de leur faire perdre leur excès d'humidité. Dès que les buvards ne renferment plus que 60 °/₀ environ de l'eau qu'ils avaient à saturation, ce dont l'opérateur juge au toucher, on les dispose par quatre dans des vases en verre dans lesquels on ne met

plus d'eau et dont on obture la partie supérieure avec du coton. Ces vases sont groupés dans des caisses en bois (fig. 4 et 6), ce qui permet de les transporter et de les classer facilement. On laisse les lots d'expérience ainsi disposés dans la serre chaude ; tous les deux jours, on compte les graines germées et on en profite pour redonner à l'aide d'une pipette quelques gouttes d'eau aux buvards afin d'entretenir l'humidité nécessaire ; on change, s'il y a lieu, les buvards qui se tachent de moisissures.

3° **Essai des graines d'aune et de bouleau.** — Les graines d'aune et de bouleau ont besoin, d'après le Dr Stebler, de lumière pour

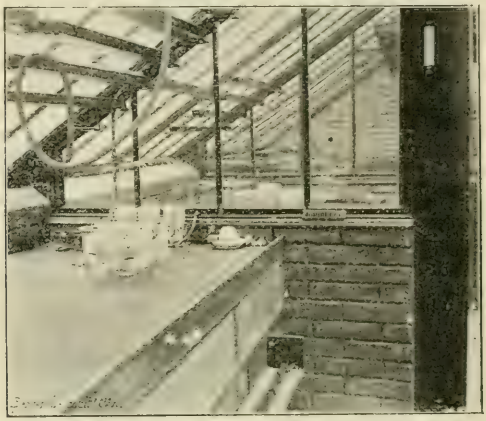


Fig. 6 — Serre chaude pour les essais de germination

leur germination. Pour les essais de ces graines, on se sert à Zurich des godets en terre poreuse de Nobbe ; ces godets sont disposés sur des plateaux en zinc, à bords assez relevés pour qu'on puisse y maintenir une nappe d'eau de 1 centimètre d'épaisseur dans laquelle plongent les godets ; enfin les plateaux sont suspendus à 5 ou 10 centimètres en dessous des verres de la serre chaude. Les comptages s'opèrent tous les deux jours comme précédemment et l'opérateur doit veiller à ce que le niveau d'eau dans la cuve reste toujours à peu près constant, c'est-à-dire à la hauteur voulue pour que les graines placées dans les godets aient toujours le degré optimum d'humidité.

4° **Essai des semences d'un certain nombre d'arbres feuillus.** — Les semences d'érable, de frêne, de charme, etc., ainsi que les grosses semences telles que les glands et les faînes, sont mises en germination dans des plats ou des terrines remplies de terre (fig. 6, salle du fond) ; ces pots sont disposés dans une petite salle de la serre chaude qui est moins chauffée et ils reposent sur de la braise de coke ou des débris de scories afin d'éviter les attaques des souris.

L'humidité autour des semences est maintenue par des arrosages prudents.

Ces derniers essais de germination sont plus longs à exécuter et par suite moins fréquents à Zurich que ceux des graines de conifères ; souvent aussi, à la demande des parties intéressées, on se contente d'exécuter un essai au couteau pour un grand nombre de grosses semences dont la germination est trop longue à suivre.

III. — NOTES SUR QUELQUES AUTRES STATIONS ÉTRANGÈRES

Stations royales hongroises d'essais de semences

Toutes les stations d'essai de semences hongroises (stations de Budapest, de Kassa, de Debreczen, de Keszthely et de Kolozsvar) sont établies par l'État et, sauf la station indépendante de Budapest, elles sont rattachées aux instituts agronomiques.

La station de Budapest a commencé à fonctionner en 1884 dans un laboratoire rattaché à la chaire de botanique de l'école vétérinaire supérieure. En 1891, elle a été séparée de cet institut et rendue complètement indépendante. Les autres stations sont de fondation plus récente.

Ces stations ont pour mission le contrôle sur le trafic des semences et d'autres produits végétaux ; elles ont pour devoir de défendre les intérêts des agriculteurs, horticulteurs et sylviculteurs contre les fraudes et les falsifications auxquelles ils sont exposés ; elles sont destinées à faire des essais sur le développement des plantes agricoles, sur la formation, la maturité, la germination et la faculté germinative des graines ; elles ont encore comme rôle d'appeler l'at-

tention du public sur les falsifications et la manière de les reconnaître.

Dans ce but, les stations se chargent des travaux suivants : elles examinent l'identité, la provenance (autant que cela peut se faire par l'examen des graines), la pureté, la faculté germinative, le poids absolu, le poids par unité de volume superficiel et, enfin, le degré d'humidité des graines qui leur sont envoyées ; une de leurs attributions les plus importantes consiste à certifier, par l'adjonction d'un bulletin et par le plombage des sacs, une propriété quelconque constatée dans les graines examinées.

L'activité de ces stations a augmenté dans une très forte proportion depuis la mise en vigueur de la loi XII de 1892, sur la police rurale, et de la loi XLVI de 1895, sur la répression des falsifications de denrées, produits et articles agricoles. Il n'entre pas dans le cadre de notre travail d'exposer cette législation spéciale qui réglemente d'une façon très sévère le commerce des semences et rend obligatoires pour tous, d'une part les garanties à fournir sur les semences du commerce, d'autre part les analyses de contrôle. Nous renverrons à ce sujet à l'intéressant article du Dr Arpag-Degen sur les stations royales hongroises d'essai de semences (1).

De même, en ce qui concerne l'organisation et les méthodes d'analyse absolument uniformes de ces stations, nous nous bornerons à constater que, en ce qui concerne les essais de semences forestières, les expériences sont dirigées suivant des prescriptions qui reproduisent d'une façon générale celles que nous avons signalées en Allemagne et en Suisse.

A la station de Budapest, la germination des graines de conifères est obtenue à l'aide de l'appareil de Jacobsen ; l'essai de la faculté germinative porte sur trois séries de 200 graines ; le pour-cent de germination est donné par le pour-cent moyen des graines qui ont germé dans chacune des séries, à la condition qu'il n'existe pas un écart de plus de 10 °/₀ entre les résultats obtenus dans chaque série.

---

1. *Service des stations agronomiques hongroises*, ouvrage publié à l'occasion de l'Exposition universelle de 1900 par la commission centrale du Service des stations agronomiques au ministère royal hongrois de l'agriculture. Budapest, 1900.

Le pour-cent des graines encore fraîches en apparence à la fin des essais est porté dans une rubrique à part avec la mention qu'une certaine partie de ces graines, impossible à déterminer dans le cas particulier, germera encore plus tard.

Le nombre total des analyses effectuées à la station de Budapest a été de 764 en 1881, à l'époque de ses débuts ; il s'est progressivement élevé jusqu'à 3 783 en 1891, 8 006 en 1892, 12 427 en 1893 et enfin 28 389 en 1898.

La station, installée depuis 1901 dans un bâtiment spécial qui répond en tous points aux exigences du service, dispose d'un personnel, de crédits et d'un matériel en rapport avec son activité ; elle est à cet égard largement dotée.

Stations autrichiennes

En Autriche nous avons à signaler la station d'analyse et de contrôle de semences forestières de Mariabrünn, créée en 1889 et annexée à la station impériale-royale de recherches forestières de l'académie forestière de Mariabrünn. Nous avons décrit au sujet de la station d'Eberswalde l'appareil employé pour les essais de germination dans cette station.

Nous devons mentionner aussi l'importante station d'essai de semences de Vienne.

Stations danoises

En Danemark, il existe à Copenhague une importante station d'analyse et de contrôle de semences, qui s'occupe aussi bien des graines agricoles que des semences forestières. L'appareil de Jacobsen y est employé pour toutes les graines forestières qui germent vite, comme par exemple le pin sylvestre ; pour les autres semences de conifères dont la germination est plus lente, comme par exemple les *Abies magnifica, Abies nobilis, Abies concolor, Larix, pinus maritima, pinus strobus, pseudotsuga Douglasii,* etc., on emploie de simples germoirs en papier buvard, comme nous l'avons déjà vu faire sous deux formes différentes à Tharandt et à Zurich.

IV. — STATIONS FRANÇAISES

Le contrôle des semences forestières est très peu appliqué en France, sauf en ce qui concerne les acquisitions ou les récoltes effectuées par l'État, et il suffit, pour s'en rendre compte, de jeter un coup d'œil sur l'organisation des services compétents. Ces services comprennent la station officielle d'essai de semences du ministère de l'agriculture et la station d'expériences du domaine forestier des Barres.

Station d'essai de semences du ministère de l'agriculture (1)

La station officielle d'essai de semences du ministère de l'agriculture a été créée à Paris en 1884 sur la proposition de M. Risler, alors directeur de l'Institut national agronomique ; l'organisation et la direction de cette station furent confiées à M. Schribaux, au retour d'une mission de plusieurs mois en Allemagne, en Autriche, en Danemark et en Suisse. Comme les établissements similaires de ces divers pays, la station de Paris eut un double but :

1° S'occuper de tout ce qui touche à l'analyse et au contrôle des semences et de leurs produits dérivés, à l'amélioration de ces semences, à leur production et à leur conservation ; à ce titre, la station effectue pour le compte des agriculteurs et des négociants des analyses de semences, de farines et de tourteaux ;

2° Contribuer au progrès de l'agriculture par des recherches de physiologie végétale visant l'amélioration et la sélection des plantes cultivées ; à ce titre, elle cherche à déterminer, par des expériences poursuivies à la fois à la ferme expérimentale de l'Institut national agronomique et sur divers points du territoire français, quelles sont les variétés de plantes cultivées qui méritent surtout d'être propagées en France.

---

1. D'après les comptes rendus officiels annuels de la station d'essai de semences de Paris et les renseignements qu'ont bien voulu nous donner M. Schribaux, directeur et notre camarade Bussard, sous-directeur de la station d'essai.

En ce qui concerne les analyses agricoles, le développement de la station s'est accentué d'une façon très marquée depuis sa fondation ; le chiffre annuel des analyses est monté progressivement de 117 au début, en 1885, jusqu'à 2 201 pour l'exercice 1902-1903, et le produit annuel de ces analyses atteint aujourd'hui une moyenne de 4 000 à 5 000 fr.

L'examen des chiffres qui précèdent démontre que l'établissement de Paris est en pleine prospérité et qu'il rend au monde agricole de réels services ; nous ajouterons, comme le mentionne d'ailleurs le compte rendu officiel de 1901, qu'on jugerait mal de l'influence exercée par la station sur les transactions relatives aux semences en se basant seulement sur le nombre des analyses qu'elle exécute ; ces analyses portent en effet, pour la plupart, sur des livraisons considérables ; elles sont demandées surtout par le commerce de gros et les syndicats agricoles, et il n'est pas rare qu'un échantillon représente quarante ou cinquante balles de trèfle ou de luzerne, 10 000 à 15 000 kilogr. de graines de betteraves ; chacune d'elles a donc une portée très étendue et se répercute sur un très grand nombre de livraisons de détail. Quant aux analyses demandées par les agriculteurs ou le petit commerce à titre de vérifications, elles constituent de beaucoup la partie la moins importante du travail actuel de la station ; nombre de cultivateurs et de commerçants achètent des graines comme ils achèteraient du sucre et des épices, sur la simple apparence de la marchandise qui ne leur indique nullement la qualité et ils font preuve à cet égard encore aujourd'hui d'une très grande insouciance, au détriment de leurs intérêts.

Pour changer cette situation, il suffirait que l'établissement fasse un peu de propagande dans les campagnes par l'intermédiaire des professeurs d'agriculture et par la voie de la presse ; il suffirait qu'on apprenne aux petits cultivateurs, à ceux précisément qui ont le plus besoin du concours de la station, l'utilité de cet établissement dont ils ignorent à peu près l'existence ; cette considération nous conduit à préciser la situation de la station de Paris, qui d'après un des derniers rapports officiels en était encore réduite à restreindre dans une très large mesure sa publicité, à garder le silence sur des travaux qu'elle aurait eu grand intérêt à publier, et cela dans la crainte

d'avoir un surcroît d'analyses qu'elle savait ne pouvoir exécuter en temps utile.

Cette déplorable situation, portée à la connaissance du ministre par M. Schribaux, dans ses rapports officiels, n'a pas duré ; par un arrêté récent, M. le ministre de l'agriculture a donné à la station de Paris une nouvelle organisation en rapport avec sa prospérité croissante. L'établissement est désormais entré dans une nouvelle phase de développement ; mais, et nous reproduisons en cela l'avis autorisé du directeur de la station, ce développement portera encore aujourd'hui sur les essais et les expériences utiles au monde agricole ; il y a encore trop à faire dans cette branche pour que la station de Paris puisse songer à s'occuper des intérêts forestiers, à moins qu'on n'arrive à lui donner dans ce but une tout autre extension.

Nombre par années d'analyses effectuées à la station de Paris

ANNÉES	NOMBRE D'ANALYSES de semences forestières — Essais			NOMBRE total des analyses (toutes semences)
	de pureté	de faculté germinative	de valeur culturale	
1884-1885	»	»	»	117
1885-1886	»	»	»	384
1886-1887	»	»	»	428
1887-1888	»	»	»	536
1888-1889	1	1	1	660
1889-1890	»	2	»	476
1890-1891	»	2	»	502
1891-1892	»	1	»	566
1892-1893	»	»	»	586
1893-1894	1	1	1	1 184
1894-1895	»	»	»	1 294
1895-1896	2	3	2	1 256
1896-1897	»	»	»	1 558
1897-1898	4	4	4	1 747
1898-1899	»	»	»	1 852
1899-1900	2	4	2	1 851
1900-1901	3	»	»	2 206
1901-1902	9	20	9	1 788
1902-1903	9	10	9	2 227
Total	31	48	28	21 218

En ce qui concerne ces intérêts forestiers, la station de Paris a eu accidentellement à s'en occuper ; les relevés que nous avons faits à cet égard sont concluants, et il résulte des chiffres que nous donnons ci-dessus que le nombre des essais de semences forestières exécutés à Paris a toujours été très infime ou nul.

S'il était nécessaire cependant de démontrer l'utilité de l'essai des semences forestières, nous voudrions prendre comme exemple la graine de pin laricio soumise au contrôle de la station de Paris pendant l'exercice 1897-1898, qui a donné comme résultat 0 à l'essai de germination, ou encore la graine de pin sylvestre, qui avait une valeur culturale de 20 °/₀. Est-il permis de semer de pareilles semences ? Est-il permis à un propriétaire de les acheter et surtout de les payer dans de telles conditions sans en connaître la valeur ? Enfin, n'est-il pas triste de songer que si quelque vieux stock de semences forestières reste en magasin, un revendeur peu scrupuleux pourra les écouler dans les campagnes, chez les petits propriétaires, chez ceux qui précisément sont le plus souvent trompés ? Quelques semis effectués dans de pareilles conditions sont susceptibles de décourager pour jamais l'initiative privée en matière de reboisement.

Nous n'entrerons pas dans le détail du règlement que s'est imposé la station de Paris ; disons seulement qu'elle a introduit en France la vente des semences sur garantie et qu'elle passe à cet effet avec les principales maisons de semences des conventions, dites contrats de contrôle, en vertu desquelles des analyses de contrôle peuvent être faites gratuitement pour l'acheteur dès que le montant de la fourniture dépasse 5 kilogr. de chaque espèce de semence ; le fournisseur s'engage à reprendre toute marchandise qui ne satisferait pas, après examen à la station, aux garanties données.

Nous nous étendrons un peu plus sur l'installation de cette station, en raison de l'autorité qu'a su acquérir, en matière d'essai de semences, M. Schribaux, directeur de la station.

L'établissement de Paris dispose d'une riche collection de graines exactement déterminées, d'une bibliothèque où sont réunis un grand nombre d'ouvrages spéciaux, de balances d'analyse, des instruments d'optique et du matériel accessoire nécessaires pour l'examen, la préparation et la mise en expérience des échantillons à étudier, d'une

étuve sèche pour la dessiccation des semences, d'une série de tamis système Nobbe mis automatiquement en mouvement à l'aide d'un moteur à eau pour le triage des graines de grosseurs diverses, et d'un grand nombre d'appareils ou d'instruments d'utilité plus spéciale ; elle dispose enfin de trois grandes étuves Schribaux, autorégulatrices, à température uniforme, pour la mise en germination des semences.

L'étuve Schribaux à température uniforme permet, comme l'étuve du Dr Nobbe employée à Tharandt, de placer un grand nombre d'échantillons d'expérience dans des conditions identiques toujours connues. Cette étuve, construite en bois, renferme dix plateaux mobiles en cuivre rouge nickelé, un brûleur à gaz et deux régulateurs à alcool permettant de porter la température de l'étuve au degré voulu et de l'y maintenir d'une façon constante ; elle est chauffée par des gaz chauds qui circulent dans des tubes disposés tout autour des parois dans l'intérieur de l'étuve ; ces gaz se réunissent à la partie supérieure dans une boîte à fumée et de là ils s'échappent à l'extérieur. Ce dispositif, créé par M. Schribaux et adopté ensuite dans tous les systèmes d'étuve, rend la température absolument uniforme dans toutes les parties de l'appareil ; il est complété par la présence, entre le brûleur et le fond de l'étuve, d'une plaque mobile qu'on peut monter ou descendre à volonté afin de diriger des gaz plus ou moins chauds dans les tubes latéraux. Le réglage des températures est obtenu à l'aide des régulateurs à alcool et à mercure de M. Étienne, qui agissent automatiquement sur le débit des rampes à gaz.

Nous devons signaler ici un nouveau régulateur de température dont on trouve la description dans les comptes rendus de l'Académie des sciences [1] ; ce régulateur, adapté à l'étuve Schribaux, peut rendre de grands services lorsqu'on ne dispose pas du gaz d'éclairage et qu'on se propose d'utiliser un autre mode de chauffage, particulièrement le gaz acétylène.

---

1. « Application du gaz acétylène au chauffage des étuves à germination au moyen d'un régulateur automatique de température », par M. H. Joffrin (*C. R. A. S.*, 28 mars 1904).

La conduite des analyses pour les graines de conifères ne diffère

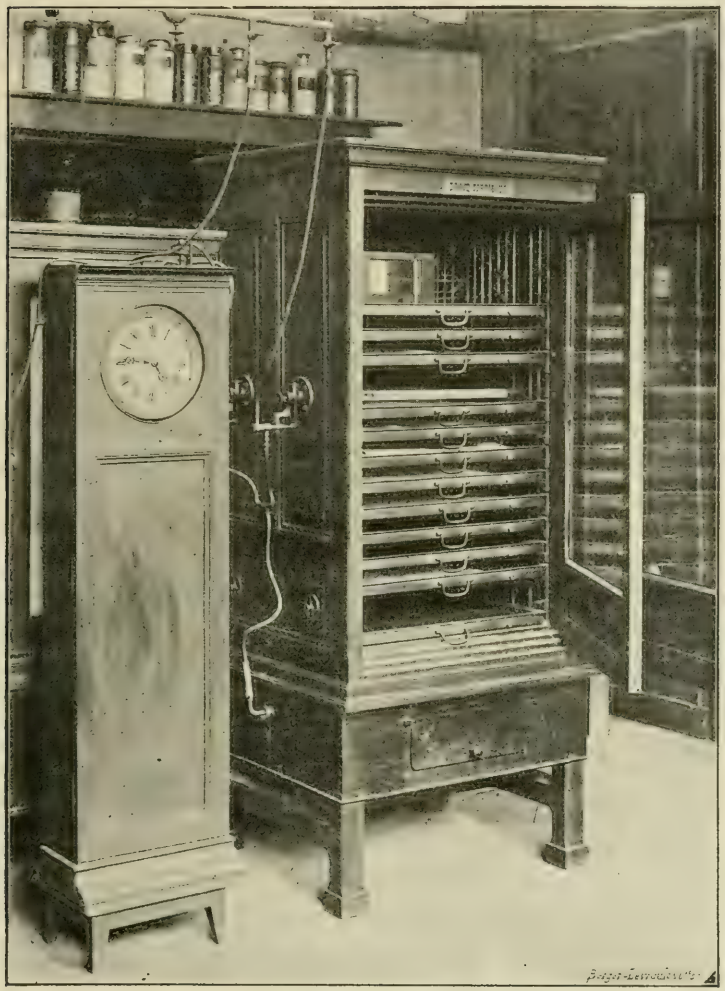


Fig. 7. — Station d'essais de semences de Paris

pas sensiblement de celle que nous avons précédemment exposée ; nous noterons toutefois les observations suivantes :

1° **Triage des graines.** — Pour déterminer la faculté germinative d'un échantillon de graines, l'essai se fait sur au moins trois fois cent

graines ; le triage de ces graines doit être pratiqué avec le plus grand soin ; les grandes, les moyennes et les petites graines doivent être toutes également représentées dans la quantité triée, et doivent être en des proportions telles que les lots choisis représentent chacun, autant que possible, la moyenne de l'échantillon original.

Chacune de ces séries de cent graines est soumise séparément à l'essai de germination dans des germoirs en papier buvard numérotés, et si les résultats obtenus de série à série accusent une différence de plus de 5 %, il y a lieu de soumettre à un nouvel essai d'autres graines de l'échantillon ; en cas contraire, le pour-cent de la faculté germinative est donné par le pour-cent moyen des graines qui ont germé dans chacune des séries. Pour les graines de conifères, à l'issue des essais, le pour-cent des graines qui n'ont pas germé, mais qui sont encore fraîches d'aspect, est porté dans une rubrique à part avec la mention qu'une partie de ces graines, impossible à déterminer dans le cas particulier, est susceptible de germer plus tard.

2° **Trempage.** — Avant d'être soumises aux essais de germination, les graines de conifères sont trempées dans de l'eau propre et tempérée où elles restent de six à quinze heures ; la durée du trempage est comptée dans le temps fixé pour l'essai de la faculté germinative.

3° **Germination.** — Le choix des couches ou germoirs employés aux essais de la faculté germinative est, en supposant que la température, l'humidité et le changement d'air puissent être bien réglés, d'une importance moindre que celui des graines mises en expérience, dont l'ensemble doit bien reproduire la qualité moyenne de l'échantillon. La station de Paris emploie uniquement des germoirs faits suivant la méthode du professeur Nobbe, en papier à filtre très épais, dans lesquels cent graines se trouvent enfermées entre deux épaisseurs de papier ; ces germoirs sont disposés directement sur les plateaux de l'étuve Schribaux et même superposés plus ou moins irrégulièrement les uns sur les autres si le manque de place l'exige ; M. Schribaux considère que le papier buvard est d'une manipulation facile, propre, qu'il permet à tout moment l'examen facile de l'é-

preuve et qu'enfin, mieux que toute autre matière, il permet de se rendre facilement compte du degré d'humidité de la semence ; M. Schribaux considère en outre qu'avec son étuve à régulateur de température telle qu'elle est installée à la station de Paris et avec le papier buvard, il arrive à régler d'une façon très sûre la température, l'humidité et l'aération et, par suite, à placer ses échantillons dans les conditions les plus favorables pour la germination.

4° **Humidité nécessaire à la germination.** — Un excès d'humidité est toujours nuisible à la germination et provoque la formation de moisissures ; à la station de Paris, l'humidité des germoirs est réglée à environ 50 °/₀ du poids d'eau que le papier buvard peut contenir à saturation, et elle est approximativement maintenue à ce degré moyen, bien que les variations d'humidité relativement faibles en plus ou en moins ne soient pas nuisibles à la marche normale de l'expérience.

5° **Température.** — Pour les essais de germination des graines de conifères, la température de l'étuve est réglée alternativement à 20° centigrades pendant dix-huit heures et à 28° centigrades pendant six heures ; M. Schribaux admet que, pour les semences forestières, les variations de température dans une limite donnée ne sont jamais nuisibles et que par contre elles semblent souvent utiles et tendent à rendre plus rapide la germination.

6° **Durée réglementaire des essais.** — L'essai de germination est arrêté normalement à vingt-huit jours ; pour le pin Weymouth elle peut être prolongée sur la demande des intéressés ; à la fin de l'essai, il est toujours procédé à l'essai au couteau des graines qui n'ont pas germé ; on note dans une colonne à part les grains frais constatés, c'est-à-dire ceux dont la section a été reconnue fraîche et saine ; une partie de ces graines est susceptible de germer ultérieurement ; cependant on ne les fait pas entrer en compte lorsqu'on établit à la fin de l'essai le pour-cent de germination.

7° **Hygroscopicité des semences.** — Une analyse faite aujourd'hui d'une façon courante à la station consiste à doser l'humidité moyenne

que renferment les graines et notamment les glomérules de betterave. Cette intéressante question se présente dans les conditions suivantes : les fabricants de sucre ont l'habitude, justifiée d'ailleurs par les nécessités de leur industrie, d'acheter eux-mêmes la semence de betterave afin de la fournir à leurs cultivateurs ; c'est alors souvent pour des fournitures de 50 000 à 100 000 kilogr. qu'ils passent des contrats avec les négociants. Or les glomérules de betteraves se trouvent être très hygroscopiques ; c'est une semence relativement chère (en moyenne 1 fr. le kilogramme) et certains fournisseurs peuvent avoir intérêt à exagérer au moment de la vente la proportion d'humidité que renferme la semence. Cette fraude, accidentelle ou volontaire, présente un double inconvénient : 1° celui de faire payer au prix de la semence un poids d'eau inutile ; 2° celui de mettre la semence dans des conditions très défavorables à sa bonne conservation, car un excès d'humidité favorise l'échauffement des graines mises en tas et entraîne rapidement une diminution importante de la faculté germinative. Le syndicat des fabricants de sucre s'est ému de cette situation et, sur l'initiative de la station de Paris, il a fait insérer dans les conditions des marchés de graines de betteraves une clause en vertu de laquelle l'humidité des glomérules ne devra pas dépasser 15 °/₀ du poids total brut. Cette clause garantie au moment de la vente donne lieu à une analyse de contrôle pour vérifier la teneur en eau que renferme la fourniture. A cet effet, dès que la semence arrive à destination, un échantillon prélevé immédiatement est adressé à la station de Paris dans un flacon de verre bien bouché. Dès la réception de cet échantillon, la station prélève 10 grammes de graines pures et place pendant trois jours ce lot d'expérience dans une étuve sèche où la température est portée à 105° centigrades. A la fin de l'essai, on pèse l'échantillon desséché et on constate la perte de poids.

L'étuve employée à Paris est une étuve Wiesneg à régulateur de température ; elle est munie d'un thermomètre ; il est facile, à l'aide d'une rampe à gaz, d'amener la température au degré indiqué et de la maintenir constante pendant toute la durée de l'expérience.

Une étude sur l'hygroscopicité des semences forestières, qui se vendent au poids et souvent à raison de plus de 5 à 7 fr. le kilogramme, permettrait de dire s'il n'y aurait pas lieu d'adopter une

clause de même genre lorsqu'il s'agit de passer des contrats au sujet de fournitures importantes, notamment en ce qui concerne le mélèze, graine dans laquelle la proportion d'impuretés est toujours considérable.

Station d'expériences du domaine forestier des Barres

La création par l'administration des forêts d'une station d'essai de semences forestières au domaine national des Barres (Loiret) date de l'année 1872, époque à laquelle l'administration forestière française a centralisé aux Barres le service des graines résineuses.

En organisant cette station, le ministre d'alors a voulu qu'elle s'occupât exclusivement des graines achetées au commerce par l'administration forestière ainsi que des graines récoltées par l'État dans les sécheries domaniales pour être réparties dans les cantonnements forestiers. Cette spécialisation, regrettable à tous points de vue, a eu comme conséquence que l'établissement des Barres, malgré son origine ancienne[1], n'a été appelé à prendre dans la suite des années aucune extension.

Depuis l'année 1872, l'administration forestière française n'achète au commerce des fournitures de graines résineuses qu'après avoir passé avec ses marchands des contrats relatifs à chaque achat. Dans ces contrats, le vendeur garantit la pureté et la faculté germinative de la marchandise ; il s'engage à accepter, en ce qui concerne les délais de livraison ainsi que les vérifications des garanties données et la détermination du prix définitif d'acquisition, toutes les clauses d'un cahier des charges dressé spécialement à cet effet[2].

---

1. La date de création de l'établissement d'essai de semences des Barres (1872) correspond à la période d'installation de la première station d'essais de semences, à Tharandt (Saxe) en 1869 ; elle est antérieure de six années à la date de création de l'établissement de Zurich, établissement qui aujourd'hui effectue annuellement plus de dix mille analyses de semences, parmi lesquelles une proportion de 20 à 22 °/₀ concerne les semences forestières, et nous avons dit précédemment que ces semences forestières envoyées pour analyse à Zurich proviennent de tous les pays, y compris la France.

2. *Cahier des charges relatif aux fournitures des graines résineuses à faire à l'administration des eaux et forêts.* Paris, 1904.

En dehors des graines achetées au commerce, les divers magasins et sécheries de l'administration forestière où sont préparées les graines résineuses récoltées dans les massifs forestiers français envoient chaque année à la station d'essai des Barres des échantillons de leurs récoltes. Ces graines sont soumises à des épreuves de germination dans des conditions analogues à celles subies par les graines du commerce, et les agents forestiers chefs des magasins ou sécheries sont avisés des résultats des essais.

Nous trouvons des détails intéressants sur cet établissement en Autriche dès 1879 dans un travail du professeur Seckendorf (1); en France en 1890 dans un rapport de M. Pierret (2) sur l'installation de la station et les résultats acquis pendant la période de 1872 à 1890; en Autriche en 1893 dans une notice publiée par le professeur Cieslar (3) et enfin en Allemagne en 1903 dans un article du professeur Schwappach (4).

En raison de l'origine ancienne de la station des Barres, divers appareils ont été successivement employés, soit isolément, soit comparativement à ceux qui étaient alors adoptés dans les stations étrangères. Nous signalerons notamment le germinateur à gaz de M. Dubreuil, où la germination avait lieu sur flanelle; le germinateur de M. Pierret, dans lequel la germination pouvait être effectuée comparativement sur sable et sur flanelle et dans lequel une combinaison ingénieuse de tubes-syphons permettait de régler l'humidité donnée aux semences en germination; enfin, les cages grillées pour la germination sur sable installées par M. Pierret dans la serre

---

1. *Die forstlichen Verhältnisse Frankreichs*, von prof. Dr A. Freiherr von Seckendorff, K. K. Regierungsrath, Leiter des forstlichen Versuchswesens in Œsterreich, Wien, 1879.

2. « Rapport sur la station d'expériences du domaine forestier des Barres-Vilmorin », par Pierret, inspecteur des forêts, professeur à l'école forestière des Barres (*Bulletin du ministère de l'agriculture*, 9e année, n° 6. Paris, 1890).

3. *Aphorismen aus dem Gebiete der forstlichen Samenkunde : die forstliche Versuchs- und Samencontrolstation in Barres-Vilmorin in Frankreich, ihre Thätigkeit und Erfolge*, von Dr Adolf Cieslar, K. K. Adjunct der forstlichen Versuchsanstalt in Mariabrünn, aus dem forstlichen Versuchswesen Œsterreichs, 1893.

4. « La Station d'essai de semences forestières d'Eberswalde », par le professeur Dr Schwappach (*Revue dendrologique de Beissner*, Janvier 1903).

chaude d'expériences, cages dans lesquelles l'humidité nécessaire était maintenue par des arrosages fréquents effectués à l'aide de pulvérisateurs.

L'expérience et la pratique des essais exécutés aux Barres a semblé mettre en infériorité la flanelle dont le maniement est délicat et l'emploi relativement coûteux ; elle a montré que la germination sur sable pouvait donner pour un grand nombre de semences forestières de bons résultats, et que ce procédé pouvait spécialement être utile pour les graines germant lentement et irrégulièrement, mais à la condition de suivre de très près les expériences et d'avoir le soin, d'une part d'assurer une stérilisation parfaite de la couche de sable, d'autre part de maintenir d'une façon méthodique les semences placées sur le sable à un degré de chaleur et d'humidité favorables à une germination rapide, et enfin de veiller à ce que les graines déposées sur les germoirs restent bien adhérentes avec la couche de sable.

Quant à la germination sur papier buvard, elle a été essayée avec succès en suivant la méthode de M. Schribaux ; l'appareil provisoirement utilisé à cet effet est une simple étuve à plateaux placée dans la serre chaude des germinations ; sur chacun des plateaux, dont le fond est en verre, on étend une feuille de papier buvard humide, feuille sur laquelle reposent directement les germoirs en papier buvard renfermant les graines d'expérience ; une nouvelle feuille de papier buvard recouvre le tout ; enfin, l'humidité générale des germoirs est maintenue à un degré moyen par des pulvérisations périodiques d'eau à la température de la serre d'expériences.

C'est à ce dernier procédé que nous donnons actuellement la préférence pour la majorité des graines résineuses que nous avons à essayer, en nous basant sur les mêmes motifs que les professeurs Nobbe en Allemagne, Stebler à Zürich et Schribaux en France.

DEUXIÈME PARTIE

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX ET NOTES SUR LES GRAINES RÉSINEUSES

Pin sylvestre

(*Pinus sylvestris* Lin.)

Le pin sylvestre est aujourd'hui l'essence la plus employée dans les travaux de reboisement en France. Sa graine est très chère dans le commerce, et les fournitures faites peuvent être de mauvaise qualité lorsqu'on ne s'entoure pas de toutes les garanties possibles.

Nous mettrons en parallèle, au sujet de cette semence, quelques résultats déjà acquis.

Pureté. — Des échantillons de provenances très diverses ont donné comme coefficient de pureté les chiffres suivants :

		MOYENNE	MAXIMUM	MINIMUM
		%	%	%
Nobbe	1876 (1) : Expériences sur la qualité des semences du commerce	97,42	100	90,89
	1889-1898 : Station de Tharandt.	97,78	98,55	95,61
Schwappach	1900 : (Station d'Eberswalde).	98	»	»
	1901 : —	97,8	»	»
	1902 : —	96,7	»	»
Station de Zurich.	1902-1903 : D'après 365 essais.	95,9	99,4	75,9
Station de Paris.	1888-1903	96,71	98,49	92,36
Station des Barres.	1903-1904 : Graine achetée au commerce avec garantie	99	99,6	98,5
	Graine provenant des sécheries de l'administration forestière.	95,43	99	90
Rafn (2), à Copenhague.	1900-1903	96,29	99,40	88

Dans ces divers essais de graines de toutes provenances, le coefficient de pureté a varié de 75,9 (minimum) à 100 (maximum), c'est-

1. *Handbuch der Samenkunde*, von Dr Nobbe. Berlin, 1876.

2. « Etwas uber Samenuntersuchungen », von Johannes Rafn (*Mitteilungen der deutschen dendrologischen Gesellschaft*, 1900-1903).

à-dire que la proportion d'impuretés renfermée dans 100 kilogr. de fourniture a varié de 0 à 24 kilogr.

Cette proportion d'impuretés qui, pour une semence d'un prix relativement élevé (5 à 7 fr. le kilogramme en moyenne), est intéressante à considérer au moment des transactions, doit être réduite au minimum par les négociants. Avec les instruments perfectionnés dont dispose le commerce aujourd'hui, elle ne doit pas dépasser 0 à 5 °/₀ ; *on peut admettre que le coefficient de pureté d'une bonne semence de pin sylvestre doit, dans les conditions normales, être supérieur à 95 °/₀.*

Nous sommes d'avis qu'on ne doit pas consentir de transactions avec une garantie de pureté inférieure, et cela pour deux raisons :

1° La graine désailée de pin sylvestre est une semence de grosseur moyenne ; elle est facile à séparer mécaniquement de la plus grande partie des impuretés (débris d'écailles, pierrailles, etc.) qui y sont mélangées et qui n'ont généralement pas les dimensions, la forme et le poids des graines saines. Cette opération de nettoyage incombe au négociant et l'acheteur doit se refuser à payer au prix de la graine, sur une fourniture de 100 kilogr., un poids brut de matières inertes supérieur à 5 kilogr.

2° Bien que le degré d'hygroscopicité des semences forestières soit peu connu, il paraît certain que les matières inertes telles que débris d'ailes et d'écailles, brindilles, etc., sont essentiellement plus hygroscopiques que les graines saines ; par suite, si les impuretés sont en excès, l'acheteur est exposé à perdre de ce chef sur la fourniture qu'il achète un poids d'eau absolument inutile.

Faculté germinative. — Des échantillons de provenances très diverses ont donné comme coefficient de faculté germinative les chiffres suivants :

		MOYENNE	MAXIMUM	MINIMUM
		°/₀	°/₀	°/₀
Nobbe	1876	40	88	0,0
	1889-1898	59,81	66,05	44,87
Schwappach	1902 (Station d'Eberswalde)	77,7	94	26
Zurich	1902-1903	72	98	5
Paris	1888-1903	69,8	83	22
Station des Barres	1903-1904 : Commerce	86,2	92,3	80,3
	— Sécheries	69,3	87,3	23
Copenhague	1900-1903	66,42	91,10	31

Dans ces divers essais de graines de toutes provenances, le coefficient de faculté germinative a varié de 0 (minimum) à 98 °/₀ (maximum), c'est-à-dire que la proportion de graines incapables de germer dans les fournitures que représentent ces échantillons a varié de 2 °/₀ à 100 °/₀.

Cette proportion de graines incapables de germer, qui, en toutes circonstances, doit être connue, si l'on veut pouvoir régler d'une façon méthodique la densité d'un semis, doit être réduite au minimum par les négociants et il appartient à ces derniers de se préoccuper des conditions de récolte, de manipulation et de conservation des graines qu'ils achètent directement aux producteurs.

Rappelons à cet égard que la semence doit être récoltée à maturité, et qu'une récolte trop hâtive (cônes insuffisamment mûrs) abaisse dans une forte proportion le coefficient de faculté germinative [1]. D'autre part, la maturité de la semence ou du cône ne correspond pas toujours à la maturité de la graine, et il en résulte que le coefficient de faculté germinative d'une graine a souvent une tendance à s'élever pendant quelques mois, et même pour certaines graines (pin maritime) pendant quelques années, pour décroître ensuite plus ou moins rapidement.

Décroissance de la faculté germinative. — La faculté germinative de toutes les graines décroît souvent très rapidement avec le temps. Nous n'avons pas cru devoir reproduire ici les tracés graphiques relatifs aux décroissances annuelles et mensuelles du taux de germination de nos diverses essences forestières qui ont été établis par M. Pierret pour la série d'expériences exécutées aux Barres de 1873 à 1889 [2].

---

1. La faculté germinative varie aussi avec l'âge des sujets sur lesquels on récolte les cônes, tout au moins lorsqu'il s'agit d'arbres trop jeunes ou trop vieux : il serait du plus haut intérêt d'exécuter un grand nombre d'expériences précises à ce sujet.

2. Ces tracés graphiques figuraient à l'exposition universelle de 1889 avec les tableaux et renseignements complémentaires. — Les expériences conduites pendant de longues années par M. Pierret à la station d'expériences des Barres comprenaient : 1° les essais annuels, tendant à établir la loi de la décroissance de la faculté germinative pour chacune des essences résineuses les plus importantes ; à cet effet, des échantillons prélevés sur les diverses fournitures du commerce et sur les graines provenant

Ces tracés, qui représentaient des moyennes déduites d'un grand nombre d'expériences, présentaient encore, d'après M. Pierret, des irrégularités qui, sans doute, sont appelées à disparaître au fur et à mesure que de nouvelles expériences viendront ajouter leurs résultats aux anciens. Mais, si, laissant de côté pour le moment la marche exacte des variations de la faculté germinative, nous voulons établir une moyenne générale approchée, pouvant servir à titre d'indication comparative, il nous suffit de simplifier les graphiques en réunissant pour chaque lot de graines mis en expérience les deux points extrêmes (première expérience donnant au début le pour-cent de germination, et dernière expérience lors que le coefficient de faculté germinative est devenu nul ou très faible). Les allures de ces lignes de décroissance sont assez régulières pour nous permettre de représenter d'une façon schématique par une seule ligne la décroissance probable de nos principales essences résineuses (fig. A et B).

Nous reproduisons pour le pin sylvestre les deux graphiques qui nous ont permis d'établir, à l'aide des expériences de M. Pierret, la ligne de décroissance moyenne de la faculté germinative du pin sylvestre.

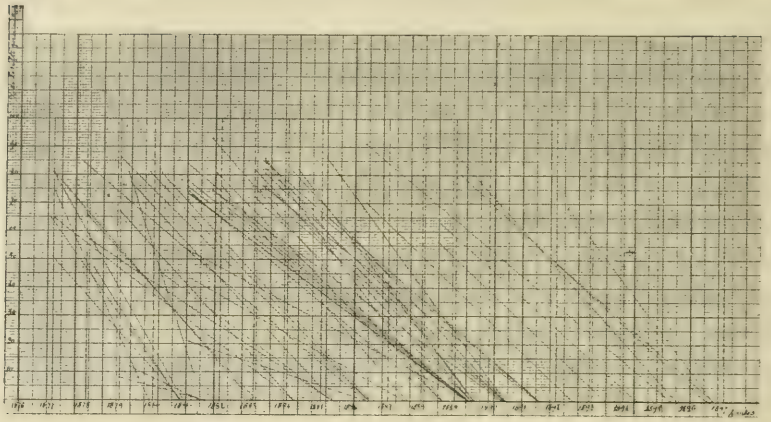
Dans le graphique A, les abscisses représentent les années successives d'expériences (divisées pour l'établissement du graphique en mois) et les ordonnées représentent le coefficient de faculté germinative de l'échantillon d'expérience à la date indiquée. Chaque ligne du tableau A, qui se rapporte à un seul échantillon suivi pendant plusieurs années, est déterminée par ses deux points extrêmes.

---

des sécheries domaniales étaient conservés en magasin et soumis d'année en année à des épreuves régulières de germination ; 2° les essais mensuels ; à cet effet, un certain nombre d'échantillons, choisis parmi les meilleurs pour chacune des principales essences résineuses, étaient soumis chaque mois à des expériences de germination, de manière à déterminer d'une façon plus suivie et plus rigoureuse les lois de décroissance.

Ces essais ont dû malheureusement être abandonnés faute de personnel et de temps et nous avons dû nous contenter de reprendre annuellement, pour les terminer, quelques-uns des essais en cours.

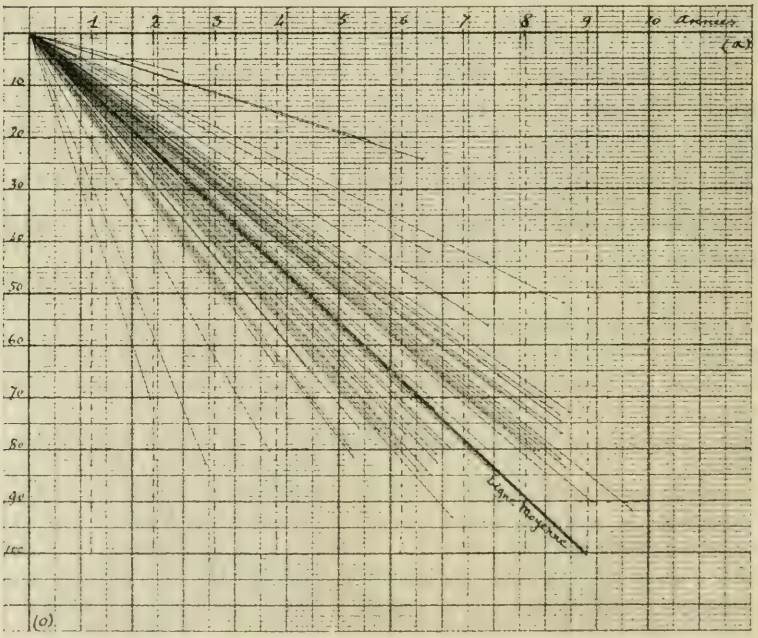
Il y a aujourd'hui dans cet ordre d'idées une intéressante série d'expériences à reprendre, en ayant soin de choisir comme échantillons d'expériences des lots de graines d'origine certaine, envoyés à la station pour être mis en essai aussitôt après la récolte.



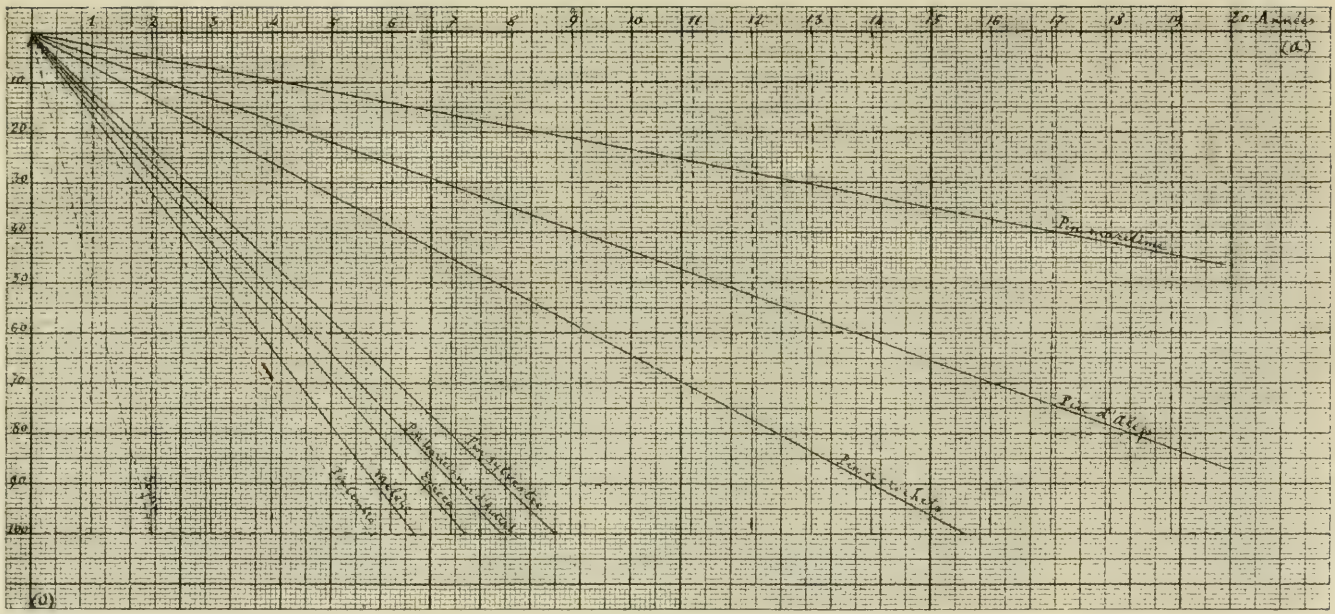
Pin sylvestre (A).

Les abscisses représentent les années du départ et de la fin de chaque expérience.

Les ordonnées représentent le pour-cent de faculté germinative au commencement et à la fin de l'expérience.



Pin sylvestre (B).



Décroissance moyenne de la faculté germinative des semences avec les années.

a) Durée en années de la conservation des semences en magasin.

o) Chiffre dont il faut diminuer la faculté germinative initiale pour avoir celle des semences après conservation en magasin.

Relevé des résultats obtenus à la station d'expériences des Barres dans la période 1875-1895 avec des échantillons de graine de « Pinus sylvestris » Lin conservés en un local sec, aéré, et à l'abri du froid.

(Le premier essai est celui qui suit l'extraction des graines, soit l'année même de cette extraction, soit le printemps suivant, quelle que soit la date de la récolte des cônes.)

NUMÉRO du registre de la station	PREMIER ESSAI		CHIFFRE dont a diminué la faculté germinative initiale année par année, pendant la durée de l'expérience (D'après les résultats des essais)							
	dates	faculté germinative	1	2	3	4	5	6	7	8
		%								
5	Décembre 1875.	83,3	24	64	84	86	87	»	»	»
15	Janvier 1877. .	80,5	35	69	72	78	»	80	»	»
25	Idem	83,8	53	77	80	83	»	»	»	»
24	Idem	81,2	33	66	75	80	»	»	»	»
19	Idem	64,6	39	60	61	63	»	63	»	»
22	Novembre 1877.	89,4	28	52	63	79	81	83	84	»
34	Janvier 1878. .	50,9	44	47	49	»	»	»	»	»
42	Idem	65,8	28	56	61	»	64	»	»	»
38	Idem	57,6	21	36	42	53	55	57	»	»
49	Mars 1878. . .	47,4	46	47	»	»	»	»	»	»
47	Décembre 1878.	66,9	37	62	»	65	»	»	»	»
71	Janvier 1879. .	85,7	11	42	65	78	82	84	85	»
82	Mars 1879. . .	78,5	43	62	70	75	77	78	»	»
93	Novembre 1879.	92,2	7	16	33	55	68	91	91	91
101	Idem	81,2	37	52	70	77	80	81	»	»
108	Février 1880. .	24,8	14	12	20	22	23	»	»	»
115	Mars 1880. . .	80,3	41	25	54	63	73	»	»	»
142	Janvier 1881. .	75,5	3	25	38	49	69	72	74	»
144	Idem	74,1	13	36	40	52	69	72	74	»
129	Décembre 1880.	53,4	7	23	34	40	50	52	49	»
133	Janvier 1881. .	83,3	35	63	67	74	79	82	83	83
147	Idem	77,8	4	29	46	59	73	75	77	»
149	Idem	74,3	0	41	47	57	72	73	74	»
148	Février 1881. .	43,2	»	23	29	37	41	»	»	»
172	Octobre 1881. .	93,6	21	50	70	68	90	93	»	»
174	Idem	74,3	»	15	24	40	64	70	72	74
176	Novembre 1881.	80,8	11	48	66	72	80	»	»	»
184	Janvier 1882. .	66,3	6	44	51	62	65	66	»	»
185	Idem	70,0	39	48	57	65	70	70	»	»
190	Idem	76,6	33	45	58	76	76	»	»	»
220	Avril 1883. . .	76,2	10	27	»	68	74	74	76	»

NUMÉRO du registre de la station	PREMIER ESSAI		CHIFFRE dont a diminué la faculté germinative initiale année par année, pendant la durée de l'expérience. (D'après les résultats des essais)							
	dates	faculté germinative	1	2	3	4	5	6	7	8
		%								
196	Janvier 1883. .	75,6	5	19	52	68	73	73	75	»
204	Idem	81,5	11	35	61	76	80	81	»	»
206	Idem	72,6	30	45	68	72	72	»	»	»
226	Mars 1883. . .	81,8	29	57	75	81	81	»	»	»
227	Avril 1883. . .	85,5	6	25	59	70	80	82	84	85
229	Idem	81	11	41	69	74	79	79	80	»
231	Idem	84,9	39	56	81	84	84	»	»	»
237	Janvier 1884. .	82,9	17	27	59	73	79	82	»	»
248	Avril 1884. . .	82	18	69	78	80	81	82	»	»
254	Idem	75	35	66	74	»	»	»	»	»
255	Mai 1884 . . .	80,6	38	72	78	79	80	»	»	»
264	Février 1885. .	76,1	38	48	61	69	74	76	»	»
270	Janvier 1886. .	64,5	48	43	59	64	»	»	»	»
275	Avril 1886. . .	91	19	47	67	77	87	91	»	»
282	Idem	70,4	25	51	63	66	70	»	»	»
285	Idem	52,2	47	51	»	»	»	»	»	»
309	Février 1888. .	56,1	41	49	55	56	»	»	»	»
316	Mars 1888. . .	62,6	41	52	59	60	62	»	»	»
321	Mai 1888 . . .	61	40	53	58	59	»	»	»	»
329	Février 1889. .	80,7	9	35	61	66	71	77	80	»
333	Idem	85,5	49	79	79	83	84	85	»	»
344	Avril 1889. . .	57,1	24	44	45	52	»	»	»	»
346	Février 1890. .	84,8	21	31	59	60	72	82	»	»
365	Mars 1890. . .	74,8	44	50	61	62	»	»	»	»
391	Décembre 1891.	45	35	42	44	»	»	»	»	»
392	Février 1892. .	79,1	16	30	43	»	»	»	»	»
399	Avril 1892. . .	68,4	49	59	65	68	»	»	»	»
417	Mars 1893. . .	85,5	19	33	50	76	81	»	»	»
422	Idem	81,4	38	59	66	78	»	»	»	»
430	Idem	83,8	17	33	52	64	80	»	»	»
437	Avril 1893. . .	73,2	18	42	»	»	»	»	»	»
446	Janvier 1894. .	94,7	16	26	69	90	»	»	»	»
456	Idem	68,8	35	45	55	65	»	»	»	»
457	Idem	66,9	27	37	53	63	»	»	»	»
461	Février 1894. .	68,9	19	28	48	65	»	»	»	»
467	Mars 1894. . .	89,2	13	26	56	65	»	»	»	»
468	Avril 1894. . .	81,9	10	26	»	»	»	»	»	»
480	Décembre 1894.	66,2	»	41	59	63	»	»	»	»
505	Juillet 1895 . .	58,3	33	40	50	»	»	»	»	»
	MOYENNE. . . .		26	44	58	67	73	76,8	77,2	83

Dans le graphique B, nous avons reporté au même point d'origine toutes les lignes du tableau A afin d'avoir un faisceau de droites divergentes ; la ligne moyenne de ce faisceau représente la décroissance probable de la faculté germinative avec les années ou encore, ce qui est plus exact, un point quelconque de cette ligne nous indique d'une façon approchée le chiffre dont il faut diminuer le coefficient initial de faculté germinative de la semence pour avoir le véritable coefficient de faculté germinative au moment considéré [1].

Enfin, nous avons reproduit dans un graphique d'ensemble (p. 381) les résultats obtenus à cet égard pour nos principales semences de conifères.

Nous ne pouvons surcharger notre travail de chiffres ; toutefois, pour mettre en évidence ce que représente le graphique d'ensemble figurant la décroissance moyenne des diverses semences avec les années, et pour préciser l'intérêt qu'il y a à déterminer d'une façon beaucoup plus précise, à l'aide de nombreuses expériences répétées sur des échantillons d'origine certaine, les véritables courbes moyennes de décroissance de la faculté germinative des graines avec le temps, nous reproduisons dans le tableau ci-dessus (p. 382, 383) les résultats obtenus aux Barres, sur un grand nombre d'échantillons de graines de pin sylvestre d'origines très diverses.

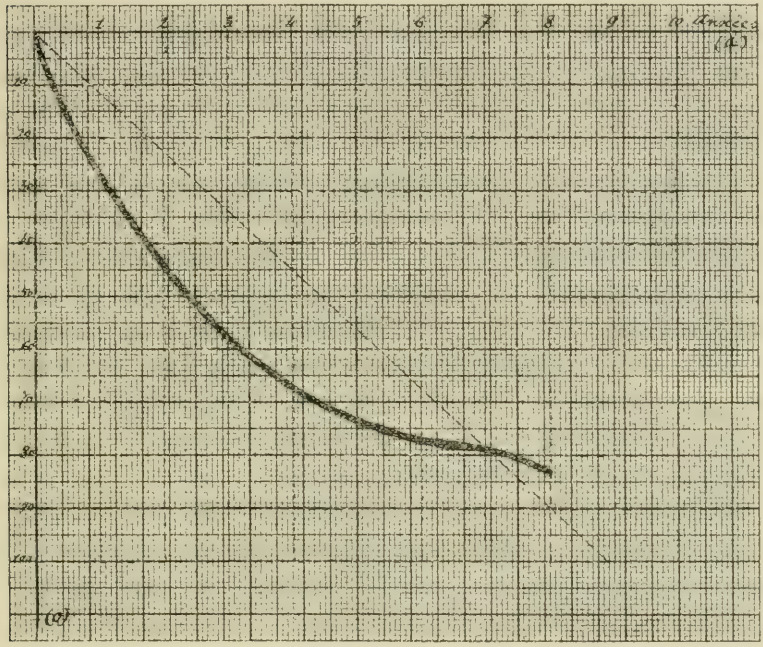
Avec les moyennes établies d'après les chiffres de ce tableau, nous pouvons dresser une courbe déjà plus approchée de la réalité, et qu'il est intéressant de comparer à la ligne droite que nous avons adoptée dans le tracé de nos graphiques (fig. C).

Nous nous abstiendrons actuellement d'en déduire des conclusions trop précises, notre but, en publiant ici quelques-uns des chiffres obtenus par M. Pierret, étant de faire ressortir la nécessité de grouper aujourd'hui un très grand nombre de résultats du même genre pour permettre d'en déduire, si cela est possible, la loi de décroissance moyenne de la faculté germinative des principales graines utilisées dans les repeuplements forestiers.

---

1. Il semble particulièrement intéressant, pour le commerce des semences forestières, de poursuivre les expériences déjà si avancées de M. Pierret, pour arriver au tracé exact des courbes de décroissance de la faculté germinative avec le temps.

Ces expériences, à notre avis, doivent porter aussi sur des échantillons conservés avec des procédés différents (dans un grenier ou magasin bien aménagé à cet effet, — dans le sable, — en silos, etc.), et les résultats comparatifs ainsi obtenus seront du plus haut intérêt pour le commerce des semences forestières. Il appartient aux



Pin sylvestre (C)

Décroissance moyenne de la faculté germinative des graines de Pin sylvestre avec les années.

o) Chiffre dont il faut diminuer la faculté germinative initiale pour avoir celle des graines après conservation.

a) Durée en années de la conservation des semences en magasin.

stations d'essai de semences de se lancer hardiment dans cette voie.

L'analyse des résultats que représente ce graphique démontre que la faculté germinative de la graine de pin sylvestre décroît assez rapidement avec les années ; au bout de cinq à six ans, le chiffre qui exprime le coefficient de faculté germinative a diminué de 60 à 70 unités ; c'est dire qu'*une semence de pin sylvestre qui n'est*

pas de toute première qualité ne peut être conservée en magasin quelques années sans perdre toute sa valeur marchande (1).

Cette décroissance de la faculté germinative a été observée sur des échantillons conservés avec soin dans un magasin sec, aéré et à l'abri du froid et des gelées. Avec des méthodes de conservation insuffisantes, avec des graines trop humides ou des graines qu'on a laissé s'échauffer en tas, la décroissance du taux pour cent de germination est beaucoup plus rapide ; aussi, en général, n'emploie-t-on pas volontiers des graines de pin sylvestre âgées de plus de deux ans.

Les résultats précédents démontrent combien il est nécessaire que les négociants en semences mettent de côté, sans le mélanger au nouvel approvisionnement, le reliquat de leurs semences qui n'ont pas été vendues dans l'année, afin de vendre toujours à part ces vieilles semences avec une notable diminution de prix ; ils démontrent aussi combien en cette matière la fraude serait facile pour des maisons non consciencieuses, et combien, alors, il est dangereux d'acheter au hasard des semences, comme on achèterait du sucre ou du coton, et d'utiliser ces semences sans aucun contrôle.

Le contrôle établi par les stations d'essai de semences pour les graines de la culture agricole a eu comme double résultat d'améliorer la qualité des semences et d'en abaisser d'une façon sensible le prix moyen. Dans le commerce des graines forestières ce n'est qu'avec une sorte d'hésitation et comme à regret qu'on s'accoutume peu à peu à en contrôler la qualité.

Pour le pin sylvestre, d'après Nobbe, plusieurs négociants de graines forestières ont demandé qu'on considère comme normale une faculté germinative de 60 à 65 °/₀. D'après les chiffres que nous avons cités, cette faible proportion de bonnes graines, qu'on ne peut

1. M. Pierret donne les chiffres suivants : en général, pour le pin sylvestre, la proportion de bonnes graines varie de 74 à 79 °/₀ la première année, c'est-à-dire lors de l'essai fait à l'arrivée aux Barres, soit le plus souvent à peu près un an après la récolte des cônes ; la deuxième année, le taux de germination n'est plus que de 49 à 58 °/₀, puis, la troisième année, de 28 à 45 °/₀, etc. ; le rendement est inférieur à 5 °/₀ dès la sixième année. On peut donc dire que, quand on achète des graines au commerce, on est en droit d'exiger des graines contenant de 74 à 79 °/₀ de bonnes semences. Le Dr R. v. Tubeuf donne, d'après Gayer et Hess, les chiffres de 70 à 75 °/₀.

admettre que pour des années de récolte particulièrement défavorable est en général insuffisante. Avec les connaissances sur les procédés de récolte et de conservation qu'on possède aujourd'hui et en présence des chiffres supérieurs à 90 °/₀ qu'ont donnés de nombreux essais de faculté germinative, on doit admettre que dans une bonne semence de pin sylvestre le nombre des graines incapables de germer ne doit pas dépasser 20 à 25 °/₀, c'est-à-dire que *le coefficient de faculté germinative d'une bonne semence de pin sylvestre doit, dans les conditions normales, être supérieur à 75 ou 80 °/₀.*

Nous noterons ici une intéressante observation de M. Pierret au sujet de l'influence que peut avoir le mode de désarticulation des cônes sur la qualité moyenne des semences ; dans les sècheries, les cônes, généralement très bien ouverts à la chaleur artificielle, laissent échapper toutes les graines, aussi bien celles du centre que celles de la base et du sommet du cône ; la désarticulation à la chaleur solaire serait moins complète et, par suite, la proportion des bonnes graines du centre plus forte. M. Pierret en conclut qu'il est permis de supposer que les sècheries à étuve arrivent à une production plus considérable de graines par kilogramme de cônes, mais que ces graines doivent fournir un coefficient de germination inférieur aux graines obtenues par simple désarticulation à la chaleur solaire.

Toutefois, cette considération n'est pas la seule à envisager et, pour préciser notre pensée, nous citerons un exemple que nous empruntons à M. Thil :

« Les préparations solaires de la graine de pin sylvestre sont condamnées à Mende (Lozère) pour trois causes :

« 1° Échauffement des grandes agglomérations des cônes ;

« 2° Humidité des aires à l'air libre ;

« 3° Diminution de la faculté germinative par suite du retard dans l'emploi. »

Il appartient aux négociants en semences forestières d'adopter, à l'aide du concours des stations d'essai de semences, les procédés qui leur permettent de satisfaire dans une juste mesure aux exigences de l'acheteur.

Ainsi, pour les deux raisons énoncées précédemment, perte de la faculté germinative en un temps relativement court, qualité des

semences très variable avec les modes de récolte, de désarticulation, etc., la prise en considération de la faculté germinative s'impose aussi bien au producteur ou négociant en semences qu'au consommateur.

Cette prise en considération de la faculté germinative des semences présente un autre intérêt ; elle permet à l'acheteur de se rendre compte d'une façon précise du prix réel des graines qui lui sont vendues : si un lot de semences est vendu à 80 °/₀ de faculté germinative, il est facile d'établir, en se basant sur le prix d'acquisition, quelle est pour cette fourniture la valeur d'un kilogramme de semences susceptibles de germer (présentant 100 °/₀ de faculté germinative). — Un calcul de ce genre effectué à l'occasion de semences de même espèce, ayant des qualités et des valeurs différentes, démontre fréquemment qu'on paye souvent plus cher la graine utile lorsqu'on achète à vil prix, chez n'importe qui, une semence de qualité inférieure, au lieu de prendre dans une maison de confiance et à un prix relativement élevé, une très bonne semence, garantie à un taux de germination satisfaisant.

L'intérêt de l'acheteur se trouve, en somme, d'accord avec l'intérêt des fournisseurs sérieux de graines forestières, et nous en concluons que l'utilité d'avoir recours aux stations d'essai de semences se manifeste aussi bien pour le propriétaire qui utilise les graines que pour le négociant qui vend la semence.

Le professeur Nobbe, dans une communication à la Société dendrologique allemande, disait, en 1899, à cette occasion, que le marchand de graines est toujours très antipathique à la station de contrôle, et qu'il cherche par tous les moyens possibles à la rendre suspecte à l'acheteur ; nous avons trouvé une opinion contraire dans les publications d'une des plus importantes maisons de commerce de semences en Danemark, et nous partageons plus volontiers cette manière de voir. A notre avis, toutes les maisons sérieuses de semences paraissent avoir aujourd'hui intérêt à travailler d'accord avec les stations de contrôle.

Valeur culturale. — La valeur culturale est le véritable critérium par lequel on doit juger de la valeur marchande d'une fourniture.

Des échantillons de provenances très diverses ont donné, comme coefficient de valeur culturale, les chiffres suivants :

		MOYENNE	MAXIMUM	MINIMUM
		%	%	%
Nobbe	1889-1898 : Station de Tharandt.	59,81	66,05	44,87
Schwappach . . .	1900 : Station d'Eberswalde . .	80,8	»	»
	1901 : — . .	69,1	»	»
	1902 : — . .	75,1	»	»
Station de Zurich.	1902-1903	69	97,4	3,8
Station de Paris .	1888-1903	60	71,11	20,04
Station des Barres.	1902-1904 : Commerce	85,6	91,4	79,5
	Sècheries	66,27	84,2	22

D'après ces divers essais de graines de toute provenance, le chiffre de la valeur culturale a varié de 3,8 % (minimum) à 97,4 % (maximum).

En présence de ces chiffres qui démontrent combien encore aujourd'hui peut être mauvaise une semence de pin sylvestre livrée dans le commerce, nous pensons qu'*on peut admettre que le coefficient de valeur culturale d'une bonne semence de pin sylvestre doit, dans les conditions normales, être supérieur à 70 et même 75 %.*

La prise en considération de la valeur culturale permet à l'acheteur de se rendre compte de la valeur relative des diverses fournitures d'une même espèce de graines livrée dans le commerce. C'est à 100 % de valeur culturale qu'il faut rapporter les prix du marché pour les comparer. En opérant ce calcul, l'acheteur arrivera vite à se convaincre que la graine la moins chère est, en réalité, celle qu'on achète dans les maisons de confiance, en la payant un prix élevé, et non celle qu'on se procure à vil prix et qui provient, en général, de récoltes anciennes ou avariées.

Pour démontrer l'utilité de ces comparaisons, nous citerons un exemple résultant d'expériences faites par M. Johannes Rafn de Copenhague [1], sur la semence de *Picea sitchensis*.

Trois échantillons de cette semence provenant de graines achetées

1. Die Gehölz-Samenuntersuchungen der Saison 1902-1903, von Johannes Rafn, Kjöbenhawn (aus *Mitteilungen der deutschen dendrologischen Gesellschaft*, pro 1903).

en Allemagne, en France et en Amérique, dans trois maisons de commerce des plus anciennes et des plus estimées, ont été soumis au contrôle de la station d'essai ; ils ont donné les résultats suivants :

NUMÉROS de contrôle du registre de la station		FACULTÉ germinative	VALEUR culturale
—		—	—
		%	%
20 736	Graine d'Allemagne	68	61
20 737	— de France	66	62
20 738	— d'Amérique.	37	19

En appliquant à ces résultats le prix de la semence, d'après le catalogue de chaque maison, et en déterminant le prix du kilogramme de semence utile, on obtient les résultats suivants :

1° En ne tenant compte que de la faculté germinative :

	FACULTÉ germinative	PRIX par kilogramme de semence	
		d'après le catalogue	germant à 100 %
	—	—	—
	%	marcs	marcs
N° 20 736 . . .	68	35	51,48
20 737 . . .	66	37	56,06
20 738 . . .	37	30,3	81,89

2° En tenant compte de la pureté et de la faculté germinative, autrement dit de la valeur culturale :

	VALEUR culturale	PRIX PAR KILOGRAMME	
		d'après le catalogue	de fourniture utile (valeur culturale 100 %)
	—	—	—
	%	marcs	marcs
N° 20 736 . . .	61	35	57,37
20 737 . .	62	37	59,87
20 738 . .	19	30,3	159,47

Ces chiffres, qui se passent de commentaires, confirment pleinement ce que nous avons dit précédemment.

Marche de la germination. Énergie germinative. — Placée dans les germoirs de la station d'essai de semences, à une tempéra-

Pin sylvestre

			COMPTAGES SUCCESSIFS — DURÉE DE L'EXPÉRIENCE EN JOURS																									FACULTÉ germinative	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
Station d'Eberswalde																														
73	a	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	42	»	25	1	»	18	»	3	»	2	»	»	1	1	»	»	»	»	»	»	»	»	93	
	b		»	»	»	»	40	»	16	»	»	20	»	7	»	»	»	»	2	1	»	»	2	»	»	»	»	»	88	
	c		»	»	»	»	40	»	20	2	»	21	»	6	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	90	
Station des Barres																														
Graines provenant de la sécherie de Gap.	741	a	Buvard	»	»	»	»	»	»	60	»	»	17	»	»	»	»	»	5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	82	
		b		»	»	»	»	»	»	69	»	»	14	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	85	
		c		»	»	»	»	»	»	59	»	»	20	»	»	»	»	»	4	»	»	»	2	»	1	»	»	»	86	
Graines provenant des parties centrales des cônes qui ont été récoltés en Auvergne et nous ont été expédiés directement	769	a	Buvard	»	»	35	60	5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	100	
		b		»	»	58	42	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	100	
		c	Sable	»	»	89	9	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	100	
		d		»	»	96	4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	100	
Graines provenant de cônes récoltés par les soins de M. le conservateur Fabre sur des pins d'Auvergne vigoureux ayant crû en sol granitique.	773	a	Buvard	»	»	»	84	8	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	92	
		b		»	»	»	69	18	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	89	
		c		»	»	»	63	27	»	2	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	92	
		d	Sable	»	»	»	71	20	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	92	
		e		»	»	»	64	20	»	3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	88	
		f		»	»	»	72	19	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	91	
Graines provenant de cônes récoltés par les soins de M. le conservateur Fabre sur des pins d'Auvergne rabougris et ayant crû en sol calcaire.	774	a	Buvard	»	»	»	85	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	87	
		b		»	»	»	79	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	80	
		c		»	»	»	80	1	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	82	
		d	Sable	»	»	»	81	3	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	85	
		e		»	»	»	85	2	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	88	
		f		»	»	»	85	5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	90	Grain frais —
Graines du commerce	734	a	Buvard	»	»	»	»	»	29	»	»	39	»	»	»	»	»	7	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	79	0
		b		»	»	»	»	»	38	»	»	36	»	»	»	»	»	6	»	»	»	1	»	2	»	»	»	1	84	0
		c		»	»	»	»	»	29	»	»	42	»	»	»	»	»	5	»	»	»	3	»	1	»	»	»	3	83	0
	735	a	Buvard	»	»	»	»	»	76	»	»	»	»	»	»	11	»	»	1	»	2	»	»	»	2	»	»	»	92	0
		b		»	»	»	»	»	71	»	»	»	»	»	»	10	»	»	7	»	2	»	»	»	»	»	»	»	90	0
		c		»	»	»	»	»	78	»	»	»	»	»	»	15	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	95	0

ture de 20 à 25° centigrades, une bonne graine de pin sylvestre germe d'une façon régulière et assez rapide.

Nous avons relevé à titre d'exemple dans le tableau précédent la marche de la germination de quelques essais.

Il résulte de ces chiffres que les graines de pin sylvestre commencent à germer le plus souvent pendant le troisième ou le quatrième jour qui suit la mise en expérience, et que la durée totale de l'épreuve ne dépasse pas vingt-huit jours. Les prescriptions techniques de l'union des stations de recherches agricoles allemandes prescrivent d'étendre à quarante-deux jours la durée de l'épreuve de germination du pin sylvestre ; cette mesure ne nous paraît pas nécessaire, et la *durée totale de l'épreuve peut être fixée à trente jours*.

Comme, toutes conditions égales d'ailleurs, la graine germe d'autant plus vite qu'elle est meilleure, ce qu'on appelle son « énergie germinative » se trouve mesuré par le nombre de graines germées après un délai déterminé à partir du commencement de l'épreuve.

D'après la formule de M. Schribaux, qui considère l'énergie germinative comme satisfaisante quand la moitié au moins des bonnes graines ont germé pendant le tiers de la durée qu'on regarde comme nécessaire à la germination, *nous adopterons comme mesure de l'énergie germinative du pin sylvestre le pour cent de graines germées pendant les dix premiers jours de l'essai* [1].

Renseignements généraux. — Les données relatives *au poids volumétrique* des semences [2] et au nombre des semences par hectolitre paraissent être d'un intérêt secondaire, en raison des résultats très divergents qui sont cités par les divers auteurs. Pour la détermination du poids volumétrique des semences (poids moyen d'un litre), il est presque impossible d'obtenir avec différents opéra-

---

1. Les prescriptions techniques de l'Union des Stations de recherches agricoles allemandes fixent ce délai à quatorze jours pour les pins ; d'après ses expériences personnelles, le professeur Schwappach est d'avis que dix jours sont parfaitement suffisants.

2. Dans les stations allemandes ainsi qu'à Zurich, on se sert, pour déterminer le poids volumétrique des semences, de l'appareil de la Commission allemande des poids et mesures.

teurs un égal tassement de la graine, de même qu'il est difficile de remplir de la même manière le récipient ; la diversité des résultats obtenus tient aussi au degré de dessiccation de la semence, degré qui varie suivant l'hygroscopicité des semences et l'état hygrométrique de l'air. Nous avons relevé quelques-uns des résultats obtenus :

a) D'après M. Pierret (1889) à la station d'expériences des Barres :

	POIDS MOYEN du litre	NOMBRE de graines au litre
	kilogr.	
Pin sylvestre de toutes provenances (graines désailées).	0,496	75 098
— acheté au commerce — .	0,511	84 311
— de la région des Alpes françaises (graines désailées)	0,476	66 300
— de la région de Fontainebleau (graines désailées)	0,487	66 327
— d'Auvergne (Murat, Mende, Clermont-Ferrand)	0,461	71 861

b) D'après le docteur Karl von Tubeuf (1891).

	CHIFFRES de Hess	CHIFFRES de Gayer
1 hectolitre de graine désailée de pin sylvestre pèse en kilogr.	42 à 50	45 à 55
— ailée — .	13 à 16	—

La détermination du poids absolu (poids des graines au mille) paraît beaucoup plus intéressante parce qu'elle présente beaucoup plus d'exactitude. Nous citerons les chiffres suivants :

a) D'après M. Pierret (1899) à la station des Barres :

	POIDS MOYEN de 1 000 graines	NOMBRE de graines au kilogr.
	grammes	
Pin sylvestre de toutes provenances (graines désailées).	6,602	151 471
— acheté au commerce — .	6,062	164 950
— de la région des Alpes françaises (graines désailées)	7,179	139 289
— de la région de Fontainebleau (graines désailées)	7,339	136 266
— d'Auvergne (Murat, Mende, Clermont-Ferrand).	6,420	155 757

b) Du professeur Nobbe (1876) à la station de Tharandt :

	POIDS MOYEN de 1 000 graines	NOMBRE de graines au kilogr.
	grammes	
Pin sylvestre	6,189	111 571
Maximum	7,660	187 688
Minimum	5,328	130 548

c) D'après le docteur Gayer : 6gr,800.

d) D'après Johannes Rafn (1900) :

	POIDS de 1 000 graines fraîches		
	moyen	maximum	minimum
	grammes	grammes	grammes
Pin sylvestre d'Écosse	6,83	»	»
— de l'Europe centrale (Hesse, Bavière, Autriche)	5,82	6,63	»
— (graines scandinaves, finlandaises) .	4,47	5,38	3,96

Ces différences, qui s'accusent sur des chiffres moyens résultant d'un grand nombre d'expériences, ne peuvent tenir uniquement à des circonstances accidentelles de maturité, d'hygroscopicité, de conservation, etc. ; il y a là une question de provenance, qui influe sur la grosseur et sur le poids des graines, et cette question de provenance paraît être un sujet d'études des plus intéressants pour les stations d'essai de semences, car il y a à connaître d'après des expériences nombreuses et précises :

L'influence de latitude et d'altitude, de sol et de climat dans les différentes régions ;

L'influence d'altitude et de sol dans une même région ;

L'influence dans une même région et dans un même sol, de l'âge et de l'état de végétation des sujets sur lesquels sont récoltés les cônes, etc.

En présence des nombreuses variétés ou races de pin sylvestre, et du degré d'adaptation de ces races dans des conditions déterminées de sol et de climat, il y a lieu de se demander si cette question de provenance de la semence n'est pas une des plus capitales pour le commerce des graines de pin sylvestre, et si les stations

d'essai de semences ne pourraient, à cet égard, rendre les plus grands services.

D'une façon beaucoup plus générale, les semences de végétaux, dont l'aire d'habitation est très étendue, paraissent susceptibles de transmettre aux sujets auxquels elles donnent naissance certaines qualités ou certaines propriétés spéciales de leurs parents. Depuis longtemps l'agriculteur n'a pas craint d'entrer résolument dans la voie de la *sélection des semences*, et les résultats acquis ont prouvé qu'il a eu raison.

En matière forestière, la question, beaucoup moins étudiée et plus difficile à étudier, est moins connue. Il n'existe à notre connaissance, en France, que deux essais ayant été exécutés dans cet esprit d'étude : l'un entrepris en 1821, par M. de Vilmorin, dans son domaine des Barres, avec plusieurs variétés de pins, dont les graines étaient d'origine certaine (1) ; l'autre, entrepris dans le courant du dernier siècle, à la pépinière de l'École forestière de Nancy.

A l'étranger on paraît, depuis un certain nombre d'années, s'attacher de beaucoup plus près à la question. Nous n'avons pas à nous y étendre ici, mais nous citerons, pour montrer l'importance du sujet, les travaux exécutés à la Station autrichienne de recherches de Mariabrünn, par le professeur Cieslar (2), et ceux qui viennent d'être publiés par le professeur Enger, en une brochure qui forme le deuxième fascicule du huitième volume des *Communications* de la Station forestière de Zurich (3).

Dans un autre ordre d'idées, mais à un point de vue très voisin, les belles collections d'arbres exotiques introduits en France au cours du siècle dernier ont créé des centres d'étude des plus inté-

---

1. *Catalogue des végétaux ligneux indigènes et exotiques existant sur le domaine forestier des Barres-Vilmorin.* Imprimerie nationale, Paris, 1878.

2. Die Erblichkeit des Zuwachsvermögens bei den Waldbäumen, von Dr A. Cieslar, Wien, 1895 (*Revue des Eaux et Forêts,* 10 avril 1895).

Neues aus dem Gebiete der forstlichen Zuchtwahl. — Ein Wissenschaftlicher Beitrag zum Waldbau und zum Forstculturwesen insbesondere, von Dr A. Cieslar. Wien, 1899.

3. Mitteilungen der Schweizerischen Central-Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Band VIII, Heft 2, Zürich, 1905 (*Revue des Eaux et Forêts,* 15 décembre 1905).

ressants ; nous pouvons citer parmi eux le domaine national des Barres qui, aujourd'hui, appartient à l'État, le domaine d'Harcourt à la Société nationale d'agriculture, les belles collections de Segrez créées par M. Alphonse Lavallée, celles de M. Allard, à Angers, et celles du Muséum d'histoire naturelle à Paris. Les semences qu'on peut récolter en abondance dans ces collections offrent un vaste champ d'études de physiologie végétale encore inexploré, et les stations d'essai de semences ont dans ce travail, dans les essais comparatifs à entreprendre avec les semences d'origine, ainsi que dans les recherches expérimentales de végétation qui peuvent suivre la germination, un rôle très important à jouer.

Pin à crochets

(*Pinus montana* Mill.)

La graine de pin à crochets se récolte dans les Alpes, où les principaux centres de production sont, en France : dans les Alpes, le Queyras, le Briançonnais et la vallée de Barcelonnette, et, dans les Pyrénées, les environs de Montlouis (sècherie de la Llagonne). — Cette graine revient à un prix élevé en raison des difficultés de la récolte.

Nous mettrons en parallèle, au sujet de cette semence, quelques-uns des résultats déjà acquis :

Pureté. — Les impuretés sont faciles à éliminer par des triages mécaniques de la graine du pin à crochets ; nous relevons comme coefficients de pureté moyens les chiffres suivants :

		COEFFICIENT DE PURETÉ		
		Moyenne	Maximum	Minimum
Station des Barres : (1902-1904)	Semences envoyées par les sècheries. . . .	— 94,5	— 97	— 92
Chiffres de M. Rafn, à Copenhague : (1900-1903).	Semence française de Briançon	96,1	»	»
	Semence danoise . . .	99	99,7	98,5

On peut admettre que le coefficient de pureté d'une bonne semence de pin à crochets doit, dans les conditions normales, être supérieur à 95 %.

Faculté germinative. — Les résultats relevés aux Barres et à Copenhague donnent les chiffres moyens suivants :

		COEFFICIENT de faculté germinative		
		Moyenne	Maximum	Minimum
Station des Barres : (1902-1904).	Semences récoltées par l'administration. . .	— 69,6	— 80	— 57,3
Chiffres de M. Rafn, à Copenhague : (1900-1903)	Semence française de Briançon	58,7	»	»
	Semence danoise. . . .	89	98	69,5

M. Pierret, d'après les nombreux essais effectués aux Barres de 1872 à 1889, considère que la puissance germinative du pin à crochets est en moyenne de 72 °/₀ la première année.

On peut donc admettre que le coefficient de faculté germinative d'une bonne semence de pins à crochets doit, dans les conditions normales, être supérieur à 70 °/₀.

La faculté germinative des semences de pins à crochets conservées en magasin décroît assez rapidement avec les années ; cette décroissance est moins rapide que pour le pin sylvestre. D'après M. Pierret, de 72 °/₀ la première année, elle passe à 57 °/₀ la deuxième année, puis successivement d'année en année à 50 °/₀, à 42 °/₀, etc., et le rendement ne serait inférieur à 5 °/₀ que la dixième année.

Nous avons tracé pour le pin à crochets le graphique qui nous a permis d'établir d'une façon approchée, à l'aide des expériences de M. Pierret, la ligne de décroissance moyenne du pin à crochets (voir tableau général).

Valeur culturale. — Les résultats relevés aux Barres et à Copenhague sont les suivants :

	MOYENNE	MAXIMUM	MINIMUM
	—	—	—
Station des Barres	65,97	75	55,5
Copenhague.	86,5	96,8	54,49

On peut admettre que le coefficient de valeur culturale d'une bonne semence de pins à crochets doit, dans les conditions normales, être supérieur à 66 °/₀.

Marche de la germination. Énergie germinative. — Placée dans les germoirs de la station d'essais de semences à une température de 20 à 25° centigrades, une bonne graine de pin à crochets germe d'une façon régulière, mais bien moins rapidement que la semence du pin sylvestre. Les nombreuses expériences exécutées par M. Pierret lui ont permis de dire qu'un essai sur le pin à crochets se prolonge souvent plus de quarante-cinq jours ; que, par suite, il est difficile d'être fixé rapidement sur la valeur d'un échantillon de pin à crochets.

NUMÉRO du registre			COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours)																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
738	a	Sable.	»	»	»	»	»	38	»	»	20	»	»	5	»	»	»	»	»	1
	b		»	»	»	»	»	40	»	»	19	»	»	6	»	»	»	»	»	4
	c		»	»	»	»	»	43	»	»	19	»	»	4	»	»	»	»	»	2
743	a	Sable.	»	»	»	»	»	21	»	»	50	»	»	»	»	»	1	»	»	»
	b		»	»	»	»	»	27	»	»	40	»	»	»	»	»	5	»	»	»
	c		»	»	»	»	»	42	»	»	19	»	»	»	»	»	5	»	»	»
678		Sable.	»	»	»	»	»	30	»	9	»	»	3	»	»	»	1	»	»	»
674	a	Buvard.	»	»	»	»	»	»	51	»	9	»	»	2	»	»	»	»	»	»
	b		»	»	»	»	»	»	47	»	7	»	»	5	»	»	»	2	»	2

NUMÉRO du registre			COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours)												GRAINES germées à 40 jours	GRAINS frais
			19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30 à 40		
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
738	a	Sable.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	4	68	»
	b		»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	1	71	»
	c		»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	3	72	»
743	a	Sable.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	72	»
	b		»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	1	1	75	»
	c		»	1	»	»	»	»	1	»	»	»	1	1	70	»
678		Sable.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	13	36
674	a	Buvard.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	5	71	18
	b		»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	»	3	68	23

Nous pensons qu'il suffit *de prolonger l'expérience jusqu'à qua-*

rante-deux jours, à la condition qu'on ne considérera le résultat que comme exprimant le nombre de graines germées à quarante-deux jours. Il est dès lors absolument indispensable de procéder à l'essai au couteau des graines qui restent sur le germoir à la fin de l'essai, et de mentionner à côté du résultat de germination le nombre des graines dont la section a été reconnue fraîche et saine d'aspect ; une partie de ces graines, dont le nombre est impossible à déterminer dans la circonstance, est encore susceptible de germer plus tard. La valeur culturale, dans ce cas, est calculée en prenant pour base le pour-cent de germination effectif à quarante-deux jours, sans tenir compte des grains frais, et nous pensons qu'il est bon de le mentionner.

Nous adoptons, d'après ce qui précède, *comme mesure de l'énergie germinative du pin à crochets, le pour-cent des graines germées pendant les quatorze premiers jours de l'essai.*

Nous avons relevé, à titre d'exemple, dans le tableau précédent, la marche de la germination de quelques essais effectués en 1903-1904 à la station des Barres.

Renseignements généraux. — Les résultats suivants ont été obtenus par M. Pierret à la station des Barres pour les graines désailées de pin à crochets :

	PIN A CROCHETS		
	de toutes provenances	des sècheries forestières françaises	fourni par le commerce
Poids du litre de graines	$0^{kg},182$	$0^{kg},476$	$0^{kg},526$
Poids de 1 000 graines	$7^{gr},845$	$8^{gr},025$	$6^{gr},654$
Nombre de graines dans un litre . .	61,542	59,274	79,152
Nombre de graines au kilogramme .	127,471	124,611	150,285

Pin Laricio noir d'Autriche

(*Pinus Laricio austriaca* Endl.)

Nous devons citer dans les pins Laricio trois races distinctes par leur origine, par leur différence d'aspect et leurs aptitudes dont les graines sont adressées aux Barres.

Le pin Laricio noir d'Autriche, dont les graines sont achetées à l'étranger.

Le pin Laricio de Corse, dont les graines sont fournies par le commerce local.

Le pin Laricio des Cévennes, dont les graines sont récoltées par les soins des agents forestiers dans la forêt de Saint-Guilhem-le-Désert.

D'après M. Pierret, ces trois essences fournissent des graines très voisines les unes des autres par leurs caractères essentiels ; en particulier les tracés graphiques relatifs à la décroissance de la vitalité de ces graines forment trois courbes extrêmement rapprochées. Toutefois, le pin noir se sépare un peu nettement des deux autres par le poids sensiblement plus élevé de la graine.

Le plus employé des trois est le pin Laricio noir d'Autriche ; c'est celui dont la graine a été le plus étudiée.

Pureté. — Les impuretés de la graine du pin Laricio noir d'Autriche sont faciles à éliminer par des triages mécaniques, et les moyennes relevées aux Barres sur les échantillons d'expérience sont données dans le tableau suivant :

	COEFFICIENT DE PURETÉ		
	Moyenne	Maximum	Minimum
Station des Barres (1902-1904)	97,5	98	97,4
Zurich (1902-1903).	96,7	98,7	90,3
Copenhague (1900-1903).	95,25	98,24	91,50

On peut admettre que le coefficient de pureté d'une bonne semence de pin Laricio noir d'Autriche doit, dans les conditions normales, être supérieur à 95 °/₀.

Faculté germinative. — Les résultats relevés donnent les chiffres moyens suivants :

	COEFFICIENT de faculté germinative		
	Moyenne	Maximum	Minimum
Station des Barres, d'après M. Pierret (1872-1889)	76 à 81	»	»
(1903-1904)	81,47	83,33	81,4
Zurich (1902-1903)	63	96	16
Copenhague (1900-1903)	74,94	85	62
Chiffres donnés par le Dr Karl von Tubeuf, d'après Hess et Gayer . .	65 à 75	»	»

On peut donc admettre que le coefficient de faculté germinative d'une bonne semence de pin Laricio noir d'Autriche doit, dans les conditions normales, être supérieur à 75 et même 80 °/₀.

La vitalité des semences de pin Laricio noir d'Autriche décroît rapidement avec les années, et la décroissance est plus rapide que celle du pin sylvestre.

D'après M. Pierret, la faculté germinative d'un échantillon, étant la première année après la récolte de 76 à 81 °/₀, tombe entre 50 et 58 °/₀ l'année suivante et passe au-dessous de 5 °/₀ dès la sixième année après la récolte.

Nous avons tracé, pour le pin Laricio noir d'Autriche, le graphique qui nous a permis d'établir d'une façon approchée, à l'aide des expériences de M. Pierret, la ligne de décroissance moyenne de la faculté germinative (voir tableau général).

Valeur culturale. — D'après les expériences précédentes, la valeur culturale des divers échantillons de pin Laricio noir d'Autriche a été de :

	VALEUR CULTURALE		
	Moyenne	Maximum	Minimum
Station des Barres.	79,73	80,99	78,6
Copenhague	71,93	86,50	56,73

On peut admettre que le coefficient de valeur culturale d'une bonne semence de pin Laricio noir d'Autriche doit, dans les conditions normales, être supérieur à 70 et même 75 °/₀.

Marche de la germination. Énergie germinative. — Placée dans les germoirs de la station d'essai de semences, à une température de 20 à 25° centigrades, une bonne semence de pin Laricio noir d'Autriche germe rapidement et pour ainsi dire en masse. Les nombreux essais exécutés aux Barres par M. Pierret lui ont permis de dire que le pin noir commence à germer vers le quatrième ou le cinquième jour, et que le premier comptage exécuté cinq jours après le commencement de la germination a toujours fourni plus des huit-dixièmes du taux définitif, de sorte que l'on est rapidement fixé sur

le rendement probable d'une épreuve. D'après M. Pierret, la durée totale d'une expérience est d'environ vingt-neuf jours.

En fixant à *trente jours la durée de l'essai de germination*, nous sommes conduits à adopter, comme *mesure de l'énergie germinative de la semence du pin Laricio noir d'Autriche, le pour-cent des graines qui ont germé pendant les dix premiers jours de l'essai.*

NUMÉRO du registre			COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours)														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
716	a	Buvard	»	»	»	»	»	51	»	»	17	»	4	»	6	»	»
	b		»	»	»	»	»	35	»	»	27	»	3	»	4	»	»
	c		»	»	»	»	»	48	»	»	21	»	9	»	»	»	»
715	a	Buvard	»	»	»	»	»	54	»	21	»	»	2	»	1	»	»
	b		»	»	»	»	»	56	»	18	»	»	4	»	»	»	»
688	a	Buvard	»	»	»	45	»	»	26	»	6	»	»	»	2	»	»
	b		»	»	»	59	»	»	17	»	1	»	»	»	4	»	»
	c		»	»	»	50	»	»	24	»	5	»	»	»	1	»	»

NUMÉRO du registre			COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours)													FACULTÉ germinative
			16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
716	a	Buvard	2	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	81
	b		5	»	»	»	»	3	»	1	»	»	»	»	»	78
	c		2	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	82
715	a	Buvard	4	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	81
	b		2	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	82
688	a	Buvard	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	79
	b		»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	81
	c		»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	81

Nous avons relevé à titre d'indication dans le tableau ci-dessus la marche de la germination de quelques essais effectués en 1903-1904 à la station des Barres.

Renseignements généraux. — Les résultats suivants ont été obte-

nus par M. Pierret sur les échantillons des Barres pour des graines désailées de pin Laricio :

	PIN LARICIO		
	noir d'Autriche	de Corse	des Cévennes
Poids du litre de graines. . . .	$0^{kg},528$	$0^{kg},500$	$0^{kg},475$
Nombre de graines au litre. . .	28 045	33 684	31 619
Poids de 1 000 graines	$18^{gr},857$	$14^{gr},856$	$14^{gr},996$
Nombre de graines au kilogr. .	53 086	67 313	66 686

Pin maritime

(*Pinus pinaster* Soland)

Le pin maritime est acheté dans trois régions en France, qui peuvent se classer ainsi suivant l'importance des offres et de la production :

1° Le littoral de l'océan Atlantique (pin des Landes) ;

2° Le département de la Sarthe (pin du centre) ;

3° La Corse.

M. Thil signalait, dès 1884, que les marchands du littoral de l'Atlantique admettent difficilement le cahier des charges adopté par les étrangers, qu'ils comprennent mal ; que ces marchands se méfient des méthodes employées pour les essais et qu'une amélioration du commerce des semences dans cette région était très à désirer.

En ce qui concerne la région du Mans, l'administration forestière française a rapidement reconnu l'infériorité de cette graine ; bien avant l'hiver de 1879-1880, qui a détruit presque complètement le pin maritime dans ce pays, elle avait pris des mesures pour s'approvisionner autant que possible sur le littoral de l'Océan, dans les départements de la Gironde et des Landes. La distinction de la graine qui provient du centre de la France est-elle possible à établir ? Cela serait à désirer, car nous nous sommes laissé dire qu'aujourd'hui certains revendeurs peu scrupuleux vendent, sous le nom de « Pin des Landes », une semence qu'ils se procurent à meilleur compte dans le centre de la France.

En Corse, d'après M. Thil, le principe de la vente avec garantie peut être considéré comme admis ; les acquisitions faites dans cette

région ont pour but d'introduire dans les massifs du midi de la France la belle variété de pin maritime qui croît dans les forêts de Corse, et en particulier dans celle de Corte. Toutefois, nous nous demandons où est exécuté le contrôle de ces garanties !

D'après M. Pierret, il paraît y avoir entre le pin des Landes et le pin de Corse des différences assez sensibles au point de vue de la germination ; mais le nombre des expériences exécutées aux Barres sur le pin maritime de Corse a été trop faible pour qu'il soit possible de donner des indications précises à ce sujet.

Les chiffres obtenus par M. Pierret, d'après ses expériences sur les graines désailées reçues aux Barres, sont les suivants :

	PIN MARITIME DE BORDEAUX			PIN maritime de Corte
	de toutes provenances	fourni par le commerce	provenant des sècheries et magasins forestiers	
	—	—	—	—
Poids du litre de graines. . .	$0^{kg},587$	$0^{kg},593$	$0^{kg},585$	$0^{kg},570$
Nombre de graines au litre. .	11 131	11 363	11 090	9 771
Poids moyen de 1 000 graines.	$52^{gr},697$	$52^{gr},149$	$52^{gr},781$	$58^{gr},335$
Nombre de graines au kilogr.	18 977	19 176	18 946	17 142

Germination. — Il n'a été exécuté depuis 1900 aucun essai sur le pin maritime à la station des Barres, qui n'a fait à cet égard que poursuivre quelques-unes des expériences commencées par M. Pierret sur la persistance de la faculté germinative des graines de cette essence.

Nous relevons dans les chiffres obtenus à Copenhague par M. Rafn les résultats suivants :

PINUS PINASTER	PURETÉ	GERMINATION A				GRAINS frais	VALEUR culturale	POIDS de 1 000 graines
		5 jours	10 jours	15 jours	30 jours			
	%	%	%	%	%	%	%	
Semence italienne. .	99,70	»	»	»	75	9,5	74,78	62,70
— française .	99,80	»	1	24,70	51,50	39,9	51,40	50

D'après M. Pierret, pour les graines placées dans les germoirs de

la station d'essai à une température de 20-25° centigrades, la germination commence vers le cinquième ou sixième jour pour les graines du pin des Landes, mais la durée de l'expérience est assez variable ; elle n'est pas, en général, inférieure à trente-cinq jours ; elle peut atteindre et dépasser soixante-quinze à quatre-vingts jours.

On ne peut donc préjuger de la valeur d'un échantillon de pin maritime par la levée qui se produit dans les premiers jours, comme on le fait presque à coup sûr pour le pin sylvestre et surtout pour le pin Laricio.

D'autre part, M. Pierret constate que pour les essais de germination de cette essence, la température peut être élevée sans aucun inconvénient, pourvu que le degré d'humidité soit suffisant ; avec le germinateur à gaz de M. Dubreuil, il a pu soumettre des graines de pin maritime à une température de 38 à 42° centigrades sans que le taux de germination ait été altéré, la germination ayant été seulement accélérée ; il est bien entendu qu'il ne faut pas dépasser certaines limites de température [1] au delà desquelles une sensible élévation de température serait d'autant plus nuisible aux graines qu'elles seraient dans une atmosphère plus humide.

Il résulte de ces expériences que, pour le pin maritime, les températures utiles en ce qui concerne la germination embrassent un champ sensiblement plus étendu que pour les autres essences étudiées.

D'après ce qui précède, nous pensons qu'on peut admettre pour le pin maritime les données suivantes :

Pureté. — Les semences de pin maritime sont facilement séparées par des procédés mécaniques des impuretés qu'elles renferment. *Le coefficient de pureté d'une bonne semence de pin maritime doit, dans les conditions normales, être supérieur à 95 °/₀.*

Durée normale de l'essai de germination. Valeur culturale. Énergie germinative. — Nous pensons qu'il suffit de *prolonger l'expérience jusqu'à quarante-deux jours,* à la condition que l'essai

1. La température la plus favorable à la germination serait d'autant plus élevée que la graine est d'origine plus méridionale.

de germination sera exécuté à des températures suffisamment élevées, atteignant au moins, pendant une partie de la durée de l'expérience, 30 à 35° centigrades.

Il est, dès lors, absolument indispensable de procéder à l'essai au couteau des graines qui restent sur le germoir à la fin de l'essai, et de mentionner, à côté du résultat de germination, le nombre des graines dont la section a été reconnue fraîche et saine d'aspect ; une partie de ces graines, dont le nombre est impossible à déterminer dans la circonstance, est encore susceptible de germer plus tard.

La valeur culturale dans ce cas est calculée en prenant pour base le pour-cent de germination effectif à quarante-deux jours, sans tenir compte des grains frais, et nous pensons qu'il y a lieu de le mentionner.

Nous adoptons, d'après ce qui précède, *comme indication sur l'énergie germinative de la semence du pin maritime, le pour-cent des graines germées pendant les quatorze premiers jours de l'essai* (on pourrait ici adopter trente jours au lieu de quatorze).

Persistance de la faculté germinative avec les années. — Les essais exécutés par M. Pierret sur les graines du pin maritime conservées au magasin des Barres, ont donné en moyenne les résultats suivants :

	1er essai à l'arrivée	2e année	3e année	4e année	5e année	6e année	7e année	8e année	9e année	10e année
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Graines de toutes provenances . .	74	68	70	74	75	66	69	62	62	54
Graines du commerce.	80	78	82	81	76	68	72	64	71	64
— de l'administration forestière.	74	67	68	72	75	66	68	62	61	44
Pin maritime de Corse.	70	54	45	56	55	56	53	46	29	29

M. Pierret déduit de ces expériences que la vitalité des graines de pin maritime est puissante ; c'est ainsi que le plus ancien échantillon

de cette essence arrivé aux Barres le 28 décembre 1875, étiqueté sous le n° 4 au registre d'expériences et donnant à cette époque 76 °/₀ de bonnes graines, a encore fourni, le 24 avril 1886, une germination de 52 °/₀, et qu'un échantillon inscrit au registre de la station sous le n° 171, qui en octobre 1881 accusait 87,9 °/₀ de germination, a encore fourni en janvier 1902 une germination de 34,1 °/₀.

Les moyennes déduites des épreuves faites sur cette essence, et traduites par M. Pierret en tracés graphiques, présentent des irrégularités qui doivent évidemment disparaître plus tard, au fur et à mesure que de nouvelles expériences viendront ajouter leurs résultats aux anciennes ; mais, toutefois, elles ont permis de constater une tendance générale au relèvement du taux de germination des semences de pin maritime vers la troisième année, relèvement qui persiste pendant quelques années.

La semence du pin maritime est donc une marchandise qui peut être conservée, en magasin, pendant deux ou trois années sans inconvénient.

Nous avons tracé pour le pin maritime des Landes le graphique qui nous a permis d'établir, d'une façon approchée, à l'aide des essais de M. Pierret, et en supprimant les écarts intermédiaires, une ligne de décroissance moyenne de la faculté germinative avec les années (voir tableau général).

Pin d'Alep

(*Pinus halepensis* Mill)

Tous les échantillons de graines de pin d'Alep reçus aux Barres proviennent de cônes récoltés et préparés par les soins des agents forestiers à Aubagne (Bouches-du-Rhône) et dans la forêt de Luberon (Vaucluse).

D'après M. Pierret, les graines de pin d'Alep commencent à germer le septième jour qui suit leur mise en expérience ; la marche de la germination est assez rapide, à condition toutefois que la graine essayée soit de bonne qualité, et dans ce cas le premier

comptage effectué cinq jours après le commencement de la germination fournit très souvent les neuf dixièmes de la levée totale ; la durée complète de l'expérience serait de trente-sept jours environ.

Les expériences exécutées aux Barres depuis 1900 sont trop peu nombreuses pour être bien concluantes ; nous relevons toutefois à titre d'indication, en ce qui concerne la marche de la germination, les résultats de quelques essais :

NUMÉRO du registre	NOMBRE de graines mises en germination	COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours)																	
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
638 a	1 500	»	»	308	»	622	»	»	298	»	94	»	»	»	»	»	»	11	»
638 b	1 500	»	»	280	»	410	»	»	415	»	200	»	»	»	»	»	»	15	»
641 a	1 500	»	5	»	10	»	»	9	»	»	»	74	»	»	»	»	682	»	»
641 b	1 500	»	4	»	4	»	»	6	»	»	»	153	»	»	»	»	737	»	»
673	300	»	»	»	»	»	»	»	96	»	50	»	»	36	»	»	»	16	»

NUMÉRO du registre	NOMBRE de graines mises en germination	COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours)													TOTAL des graines germées	FACULTÉ germinative
		25	26	27	28	29	30 à 40	40 à 50	50 à 60	60 à 70	70 à 80	80 à 90	90 à 100	100 à 110		
																%
638 a	1 500	»	»	»	1	»	4	2	1	4	0	»	»	»	1 345	89,67
638 b	1 500	»	»	»	2	»	3	2	5	4	0	»	»	»	1 366	91,07
644 a	1 500	»	»	195	»	»	60	21	30	27	27	6	1	2	1 149	76,66
644 b	1 500	»	»	172	»	»	33	5	6	13	13	4	0	0	1 150	76,67
																Grain frais —
673	300	»	»	»	13	»	11	2	16	12	12	0	»	»	252	84 — 2

Il résulte de ces expériences que la germination serait à peu près terminée au bout de quarante à soixante jours, mais qu'il continue à germer jusqu'à quatre-vingt-dix jours environ une proportion de semences qui est loin d'être négligeable.

D'après ce qui précède, nous pensons qu'on peut admettre pour le pin d'Alep les données suivantes :

Pureté. — Les semences de pin d'Alep sont facilement séparées par des procédés mécaniques des impuretés qu'elles renferment. *Le coefficient de pureté d'une bonne semence de pin d'Alep doit, dans les conditions normales, être supérieur à 95 °/₀.*

Durée normale de l'essai de germination. Valeur culturale. Énergie germinative. — Nous pensons qu'il suffit de *prolonger l'expérience jusqu'à quarante-deux jours,* à la condition qu'on aura soin de procéder à l'essai au couteau des graines qui restent sur le germoir à la fin de l'essai, et de mentionner à côté du résultat de germination le nombre des graines dont la section a été reconnue fraîche et saine d'aspect ; une partie de ces graines, dont le nombre est impossible à déterminer dans la circonstance, est encore susceptible de germer plus tard.

La valeur culturale, dans ce cas, est calculée en prenant pour base le pour-cent de germination effectif à quarante-deux jours, sans tenir compte des grains frais, et nous pensons qu'il y a lieu de le mentionner.

Nous adoptons, d'après ce qui précède, comme indication sur l'énergie germinative de la semence du pin d'Alep, le pour-cent des graines germées pendant les quatorze premiers jours de l'essai (on pourrait ici adopter trente jours au lieu de quatorze).

Persistance de la faculté germinative avec les années. — La faculté germinative des semences de pin d'Alep conservées en magasin décroît avec les années, mais d'une façon beaucoup plus lente que celle du pin sylvestre ; si, d'après M. Pierret, la faculté germinative de la semence est, la première année, comprise entre 74 à 91 °/₀, elle est encore comprise entre 68 et 87 °/₀ la deuxième année, entre 65 et 82 °/₀ la troisième année, etc.

Nous avons tracé pour le pin d'Alep le graphique qui nous a permis d'établir d'une façon approchée, à l'aide des essais de M. Pierret, la ligne de décroissance moyenne de la faculté germinative de la semence du pin d'Alep avec les années (voir tableau général).

Pin cembro

(*Pinus cembra* Lin.)

La graine de pin cembro est récoltée en France dans les Basses-Alpes principalement et aussi dans les Hautes-Alpes et l'Isère. La récolte de cette graine est toujours incertaine, en raison des hautes régions qu'habite cette essence, où les premières neiges rendent fréquemment la forêt inaccessible.

Les quantités de semence nécessaires aux travaux sont souvent achetées soit aux paysans, soit aux épiciers et aux grainetiers, qui la vendent comme comestible ; pour des quantités aussi petites, dit M. Thil, il est difficile d'exiger une garantie germinative contrôlée par des essais de germination ; ce contrôle de la germination est d'ailleurs moins nécessaire ici que pour les autres semences, par suite de la facilité avec laquelle on peut reconnaître la fraîcheur de l'amande en brisant le péricarpe, et de la possibilité qu'il y a de trier les graines saines des autres en plongeant les semences dans l'eau.

D'autre part, les graines d'un an sont rances et invendables en général, de sorte que les détenteurs de la marchandise ne la conservent pas aussi longtemps.

Marche de la germination. — D'après M. Pierret, la marche de la germination de la semence du pin cembro est très lente ; les graines, placées dans les germoirs de la station d'essai et maintenues à une température de 20° à 25° centigrades, germent une à une, tantôt au bout d'une dizaine de jours, tantôt au bout de trois semaines seulement ; il n'est pas une seule épreuve où les graines n'aient dû être maintenues au moins trois mois en expérience ; bien plus, des échantillons conservés plus de deux ans en expérience à force de surveillance et de soins de propreté donnaient encore quelques graines qui germaient [1].

---

1. Il y aurait lieu d'examiner si, en modifiant les conditions d'expérimentation, on pourrait arriver à des résultats plus rapides, et si, notamment, en usant ou perforant

Nous relevons dans le tableau suivant quelques exemples :

NUMÉRO du registre de la station	NOMBRE de graines mises en essai	COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en mois)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
553	500	4	3	6	»	»	3	1	»	1	7	10	22	10	10	4	28
554	500	12	1	4	6	»	9	12	3	2	3	27	23	26	11	12	8
557	500	26	7	21	24	20	27	21	8	5	6	12	26	17	7	5	4
567	500	3	»	»	»	2	1	4	12	9	1	25	19	5	13	104	125
574	500	17	2	»	»	2	1	7	8	3	4	36	21	9	14	101	108

NUMÉRO du registre de la station	NOMBRE de graines mises en essai	COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en mois)									SOMME des graines germées	GRAINES germées	GERMINATION probable déterminée par l'essai au couteau
		17	18	19	20	21	22	23	24	25			
												%	
553	500	50	15	6	23	15	9	12	64	32	335	67	52
554	500	21	27	7	2	15	14	6	5	7	283	56,6	35
557	500	11	11	3	»	1	»	»	»	»	272	54,4	41
567	500	91	»	»	»	»	»	»	»	»	414	82,8	60
574	500	102	»	»	»	»	»	»	»	»	444	88,8	57

Nous extrayons des résultats publiés par M. Rafn à Copenhague les chiffres suivants :

1° *Pinus cembra siberica.* — Dans une étuve à germination maintenue à la température de 25°-28° centigrades, la semence a germé dans les proportions suivantes :

En dix jours.	4 %
En vingt-cinq jours	28 %
En trente jours	46 %

Dans une véranda froide et non chauffée, la même semence a donné 82 % de graines ayant germé.

---

une partie du péricarpe sans endommager l'amande, on n'obtiendrait pas une germination plus rapide et plus régulière. Des essais de ce genre ont déjà réussi pour les graines agricoles à enveloppe dure ou imperméable à l'eau.

2° *Pinus cembra* L. (1900).

Germination à 24 jours		6,92 %
Grains frais non germés à la fin de l'essai		73,4 %
Pureté		99,20
Valeur culturale	Minimum	72,50 %
	Maximum	90,00 %

Des résultats qui précèdent, nous concluons : que la semence de pin cembro, en raison de sa grosseur, est facilement livrée presque totalement pure ; que, dans l'état des connaissances actuelles, l'essai de germination au laboratoire est beaucoup trop long pour pouvoir être utilisé dans un but de contrôle, et qu'en tout cas, un essai qu'on arrête au bout de deux à quatre mois doit être complété par l'examen au couteau des graines qui n'ont pas germé à la fin de l'essai. Il paraît difficile, dans les conditions que nous venons d'indiquer, de se prononcer sur l'énergie germinative de la semence.

Une macération préalable dans de l'eau pure, maintenue à la température ordinaire, peut accélérer la germination ; dans la pratique des semis, cette opération est d'ailleurs à conseiller pour toutes les semences à germination lente, surtout pour celles qui, comme le pin cembro, sont exposées à être rapidement la proie des rongeurs [1].

Cette préparation en vue de l'exécution d'un semis peut être pratiquée de la façon suivante : Les semences sont mises à tremper dans de l'eau propre pendant le temps qui est nécessaire à l'eau pour pénétrer jusqu'au centre de l'amande (en général douze à vingt-quatre heures pour un grand nombre de semences ; beaucoup plus longtemps pour le pin cembro ; en coupant quelques graines de temps à autre pendant le trempage, il est d'ailleurs facile de constater le degré de pénétration de l'eau dans l'amande). On aban-

1. Pour exécuter les semis dans les pépinières de montagne avec du pin cembro, on commence par éliminer en plongeant la semence dans l'eau toutes les graines vaines qui surnagent ; puis on fait macérer la semence pendant quinze jours avant de la semer ; afin de la protéger contre l'attaque des rongeurs on l'enduit de minium, on laisse sécher cette couche protectrice avant de mettre en terre. On sème très serré, car on sait qu'une partie des semences ne lèveront pas dans l'année. Il n'est pas rare de voir apparaître dans les bandes des graines qui germent au bout d'une ou de plusieurs années

donne ensuite les graines disposées en tas dans un local où la température est maintenue à 15°-20° centigrades, et pour que les semences ne s'échauffent pas et respirent convenablement, on prend soin de déplacer le tas matin et soir et de l'asperger légèrement quand la masse paraît se dessécher.

On exécute le semis deux ou trois jours avant la sortie de la radicule, c'est-à-dire au moment où les graines se gonflent.

Ce procédé est conseillé par M. Schribaux pour un grand nombre de semences agricoles, pour les graines de conifères et pour toutes les semences qui, en raison de leur volume ou de la dureté de leur enveloppe, mettent plusieurs jours pour absorber l'eau nécessaire à la germination.

Avec des données précises sur les moyens d'exécution pour chaque catégorie de semences (étude qui peut être faite par les stations d'essai de semences), et avec des renseignements sur le temps nécessaire pour arriver à une bonne préparation de la semence en vue du semis, il semble que ce procédé pourrait donner d'excellents résultats et qu'il permettrait de faire une économie notable sur le nombre des semences à employer.

Il ne faut pas confondre cette opération, destinée à accélérer la germination et à préparer la graine à être semée aussitôt qu'elle commence à germer, avec la stratification, conseillée elle aussi pour conserver des semences en bon état et pour les préparer à germer dans le printemps qui suit leur récolte.

La stratification des graines, dit M. Pierret, est une pratique excellente qui devrait être d'un usage beaucoup plus répandu ; elle peut servir non seulement à hâter la germination des semences à péricarpe dur ou épais (frêne, charme, pin maritime, etc.), mais encore à conserver fraîches jusqu'à l'époque favorable pour le semis les graines à péricarpe mince ou riches en essences volatiles (orme, bouleau, sapin pectiné, etc.). On stratifie ordinairement dans le sable, que l'on maintient sec si l'on veut retarder la germination, humide si on veut l'activer [1].

---

1. Pour le pin cembro, on peut conseiller un procédé de stratification analogue à celui que nous indiquons pour le pin Weymouth.

Ces deux procédés, *stratification d'une part* et, d'autre part, *préparation à la germination* en temps voulu avant le semis, devraient à notre avis être employés plus fréquemment pour conserver en bon état nos semences d'essences forestières et pour les faire germer, qu'il s'agisse des semences de nos résineux (notamment du sapin) ou des semences d'arbres feuillus (glands, etc.) ; ils s'imposent à tout prix lorsqu'il s'agit de semences exotiques d'un prix relativement élevé (*Abies amabilis*, etc.) qu'on vend dans le commerce jusqu'à 390 fr. et plus le kilogramme. Pour de telles semences on doit arriver à employer des procédés de conservation tels qu'un fournisseur ne soit pas exposé à ce qu'on lui démontre que la semence qu'il a vendue si cher ne valait pas quelques cailloux. (Une semence d'*Abies amabilis* venue directement d'Amérique et payée à raison de 390 fr. le kilogramme a donné à peine quelques graines fertiles : 2 à 5 %. C'est trop peu pour une semence si chère.)

Nous pensons qu'on doit agir dans ce sens, auprès du producteur d'une part, et auprès des fournisseurs de graines, intermédiaires naturels entre le producteur et le consommateur, d'autre part, pour obtenir ce résultat. C'est, à notre avis, une des parties les plus utiles de l'œuvre des stations d'analyse et de contrôle des semences.

Essai de la graine au couteau. — La qualité approchée d'une semence de pin cembro peut facilement être déterminée en étudiant sur un échantillon moyen d'expérience l'état de l'amande renfermée dans chacune des graines.

A la station des Barres, il est prélevé sur l'échantillon moyen reçu quatre lots de cent graines, chaque lot devant représenter autant que possible comme grosseur de graines, aspect, couleur, etc., la moyenne exacte de l'échantillon envoyé. Dans chaque lot ces graines sont coupées au couteau, l'état de la section de l'amande est examiné avec soin et les graines sont classées en quatre catégories : graines bonnes, douteuses, rances, vides ou sans germe.

La moyenne du chiffre des graines reconnues bonnes donne le pour-cent probable de germination.

Nous avons obtenu, dans les essais les plus récents, les résultats suivants :

	GRAINES				GERMINATION probable
	bonnes	douteuses	rances	vides ou sans germe	
	—	—	—	—	—
	%	%	%	%	%
Numéro 679	61	17	3	19	61
Numéro 661	49	15	15	21	49

Si, d'autre part, nous comparons la germination probable ainsi calculée avec les résultats des essais de germination effectués à la station sur les mêmes échantillons, nous obtenons les résultats suivants :

NUMÉRO du registre	GERMINATION probable d'après l'essai au couteau	GERMINATION obtenu après un essai ayant duré 18 à 25 mois
—	—	—
553	52	67
554	35	56
557	41	54
558	49	55
567	60	82
574	57	88
575	55	76,2

Il est intéressant de constater qu'en poursuivant assez longtemps l'essai de germination, on est toujours arrivé à un pour-cent de germination supérieur au chiffre de germination probable trouvé d'après l'essai au couteau. Peut-être y a-t-il lieu de se montrer moins sévère au sujet des graines douteuses, une partie de celles que nous qualifions ainsi pouvant être encore susceptibles de germer.

Cette constatation, qui n'a été faite d'ailleurs que sur un petit nombre d'expériences, en raison de la lenteur de germination du pin cembro, nous porte à croire que l'essai au couteau n'est susceptible de donner qu'un simple renseignement approché sur la qualité de la semence.

Renseignements généraux. — Les semences de pin cembro essayées aux Barres provenaient toutes de la région des Alpes

françaises. M. Pierret donne à leur sujet les renseignements suivants :

Poids du litre de graines	0kg,520
Nombre de graines au litre	1 775
Poids moyen de 1 000 graines	293gr,113
Nombre de graines au kilogramme.	3 412

Pin Weymouth

(*Pinus strobus* Lin.)

Les échantillons de graines de pin Weymouth reçus aux Barres ont été très rares; les expériences faites ont donné les résultats suivants :

Poids du litre de graines	0kg,485
Nombre de graines au litre	24 427
Poids moyen de 1 000 graines	19gr,855
Nombre de graines au kilogramme.	50 365

Marche de la germination. — La graine de pin Weymouth, placée dans une étuve à la température de 20° à 25° centigrades, germe fort lentement ; d'après M. Pierret, ce n'est qu'au bout de quinze jours environ que la radicule commence à pointer, et en réalité les graines ne se trouvent en pleine germination qu'après trois semaines ; l'expérience complète peut exiger plus de trois mois.

Nous reproduisons à cet égard les chiffres obtenus sur cette essence à Eberswalde par le professeur Schwappach :

ANNÉE	NUMÉRO du registre	PURETÉ	NOMBRE POUR CENT DES GRAINES GERMÉES d'après les comptages successifs (jours)								FACULTÉ germinative	VALEUR culturale
			1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80		
		%									%	%
1900	43	»	0,3	3	4	6	»	»	»	»	13,3	»
1901	44	»	2	8	3	3	»	4	1	2	26	»
	45	»	»	6,7	»	3,3	»	1	1,7	2,3	15	»
	74	92,54	»	17	11,6	21,3	5	»	»	»	39,6	36,74
	88	95,73	2,7	40,6	22	13	»	»	»	»	66,6	63,76
1902	9	»	»	2,5	»	6	0,5	»	»	»	9	»
	70	92,78	»	12,3	13	37	»	8	8,3	»	45,3	41,3

Du tableau qui précède, on peut déduire que la germination est à

peu près terminée au bout de quarante jours, mais qu'il continue à germer jusqu'au soixante-dixième jour environ une proportion de semences qui est loin d'être négligeable.

Enfin M. Rafn, de Copenhague, donne les chiffres suivants (1900 et 1903) :

	DURÉE de l'essai en jours	PURETÉ	GERMINATION	GRAINS frais non germés à la fin de l'essai	VALEUR culturale	
					Maximum	Minimum
		%	%	%		
P. strobus. Tiroler Prov..	41	91,87	34,93	27,52	86,41	63,80
— Deutscher Prov.	42	93,50	33	40,84	86,40	52,40
— Americanischer Prov.. .	37	95	47,77	30,47	93,70	62,78
Expériences 1902-1903 :					Valeur culturale	
P. strobus	156	91,50	63	0,50	57,60	
—	182	95	64	0	60,80	

La marche de la germination ainsi constatée est fort lente chez le pin Weymouth.

Tenant compte de ce fait que dans la série d'essais la semence se trouve placée dans des conditions très favorables de température et d'humidité, M. Pierret en conclut qu'il est presque inutile de semer en pépinière au mois d'avril des graines de cette essence, sans leur avoir fait subir une préparation préalable ; il conseille à cet égard le procédé suivant : « Aussitôt que l'on est en possession des graines de pin Weymouth (en décembre au plus tard, car la dissémination a lieu de bonne heure, en automne), on les humecte et on les mélange par moitié avec du sable légèrement humide très pur, c'est-à-dire exempt de terreau et de substances organiques (le sable de rivière est excellent pour cet usage). On brasse le tout et on dépose le mélange dans une caisse en bois ou dans un pot à fleurs, suivant le volume. Le récipient de stratification est laissé à l'air libre près d'un mur lui offrant une légère protection. Les graines restent ainsi pendant trois mois, subissant une préparation lente et continue. On les visite souvent et au besoin on entretient l'humidité par des arrosages. Aussitôt qu'après les premières chaleurs quelques indices de germination se manifestent, on exécute le semis, et dès lors la levée se pro-

duit régulièrement et rapidement. » On voit, ajoute M. Pierret, que cette préparation antérieure au semis ne fait que rétablir en quelque sorte ce qui se passe dans la nature, puisque les graines de pin Weymouth se disséminent de très bonne heure et restent par conséquent sur le sol, soumises pendant tout l'hiver à l'influence de l'humidité [1].

Il serait intéressant de pouvoir citer des essais de germination effectués à l'étuve sur des semences (pin Weymouth, sapin, etc.) ayant subi cette préparation préalable et de comparer ces résultats avec ceux que donneraient les mêmes semences conservées dans les conditions ordinaires et non préparées au semis. Malheureusement le temps et le personnel dont nous disposons ne nous ont pas permis d'entreprendre des essais de ce genre.

D'après ce qui précède nous pensons qu'on peut admettre pour le pin Weymouth les données suivantes :

Pureté. — Les semences de pin Weymouth sont facilement séparées par des procédés mécaniques des impuretés qu'elles renferment. Le coefficient de pureté d'une bonne semence de pin Weymouth doit, dans les conditions normales, être supérieur à 90 et même 95 °/₀.

Durée normale de l'essai de germination. Valeur culturale. Énergie germinative. — Nous pensons qu'on peut se contenter de prolonger l'expérience jusqu'à quarante-deux jours, à la condition qu'on aura soin de procéder à l'essai au couteau des graines qui restent sur le germoir à la fin de l'essai, et de mentionner à côté du résultat de germination le nombre des graines dont la section a été reconnue fraîche et saine d'aspect ; une partie de ces graines, dont le nombre est impossible à déterminer dans la circonstance, est encore susceptible de germer plus tard.

La valeur culturale, dans ce cas, est calculée en prenant pour base

1. MM. Transon frères, pépiniéristes à Orléans, stratifient ainsi, non seulement la graine de pin Weymouth, mais encore, aussitôt que possible après la récolte, les semences du charme et du frêne pour obtenir la levée complète dès le premier printemps qui suit la dissémination ; les semences d'orme, d'aune, de bouleau pour leur conserver toute leur fraîcheur jusqu'au moment du semis ; enfin, les semences de toutes les graines résineuses exotiques, particulièrement celles des sapins ; ils obtiennent constamment d'excellents résultats, des semis aussi complets que possible en employant le minimum de semence nécessaire (Pierret).

le pour-cent de germination effectif à quarante-deux jours, sans tenir compte des grains frais, et nous pensons qu'il y a lieu de le mentionner.

Nous adoptons, d'après ce qui précède, comme indication sur l'énergie germinative de la semence de pin Weymouth, le pour-cent des graines germées pendant les quatorze premiers jours de l'essai (on pourrait ici adopter trente jours au lieu de quatorze).

Persistance de la faculté germinative. — Les expériences trop peu nombreuses exécutées jusqu'à ce jour ne nous permettent pas de nous rendre compte de la loi de décroissance dans la vitalité des graines de pin Weymouth avec les années. D'après M. Pierret, le taux de germination des graines essayées a été en moyenne, la première année, de 66 °/₀ ; il descend la seconde année à 33 °/₀, puis à 10 °/₀ la troisième année.

Il est donc probable que la puissance germinative de ces graines décroît assez vite avec les années.

Épicéa

(*Picea excelsa* Link)

Toutes les semences d'épicéa mises en expérience aux Barres ont été prélevées sur des fournitures du commerce. Nous mettrons en parallèle, au sujet de cette semence, quelques résultats déjà acquis.

Pureté. — Des échantillons de provenances très diverses ont donné comme coefficient de pureté les chiffres suivants :

		MOYENNE	MAXIMUM	MINIMUM
		°/₀	°/₀	°/₀
Nobbe : station de Tharandt	1876	97	100	82,17
	1889-1898	96,71	97,79	95,80
Schwappach : station d'Eberswalde	1900	97,2	»	»
	1901	96,7	»	»
	1902	96,3	»	»
Station de Zurich	1902-1903	96,1	99,5	79,1
Station de Paris	1888-1903	97,97	99,71	96,03
Station des Barres	1903-1904	97,3	100	94
Rafn, à Copenhague	1900-1903	98,41	99,40	97,45

On peut admettre que le coefficient de pureté d'une bonne semence d'épicéa doit, dans les conditions normales, être supérieur à 95 °/₀.

Faculté germinative. — Des échantillons de provenances très diverses ont donné comme coefficient de faculté germinative les chiffres suivants :

			MOYENNE	MAXIMUM	MINIMUM
			°/₀	°/₀	°/₀
Nobbe : station de Tharandt.	1876		45	85	4
	1889-1898	en 7 jours.	60,45	71,24	58,25
		en 28 jours	72,76	80,41	60,85
Schwappach : station d'Eberswalde.	1900		86,5	»	»
	1901		76	»	»
	1902		83,5	»	»
Station de Zurich.	1902-1903		71	98	0
Station de Paris	1888-1903		86	90	82
Station des Barres	1903-1904		87,7	93	85
Copenhague	1900-1903		79,99	91	45,93

On peut admettre que le coefficient de faculté germinative d'une bonne semence d'épicéa doit, dans les conditions normales, être supérieur à 75 et même 80 °/₀.

Valeur culturale. — Des chiffres qui précèdent il résulte que *la valeur culturale d'une bonne semence d'épicéa doit, dans les conditions normales, être supérieure à 70 et même 75 °/₀.*

Marche de la germination. Énergie germinative. — Placée dans les germoirs de la station d'essai de semences à une température de 20° à 25° centigrades, une bonne semence d'épicéa germe d'une façon régulière et rapide.

D'après M. Pierret, la germination commence à se manifester le quatrième jour qui suit la mise en expérience ; pendant les six jours suivants il germe environ les neuf dixièmes du résultat final, et la durée complète de l'expérience est de vingt-cinq jours environ.

Nous avons relevé, à titre d'indication, dans le tableau suivant la marche de la germination de quelques essais.

De ces données il résulte que *la durée totale de l'épreuve peut être fixée à trente jours ;* et nous adopterons comme *mesure de*

l'énergie germinative de la semence d'épicéa le pour-cent de graines germées pendant les dix premiers jours de l'essai.

NUMÉRO du registre		COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours)																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Station d'Eberswalde																			
72 a	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	66	»	8	»	»	5	»	2	»	»	4	»	1	»
72 b		»	»	»	»	71	»	6	»	»	8	»	2	»	»	»	»	»	»
72 c		»	»	»	»	70	»	8	»	»	8	»	1	»	»	»	»	»	»
Station des Barres																			
685 a	Buvard	»	»	»	»	64	»	13	»	»	»	2	»	»	2	»	»	»	»
685 b		»	»	»	»	66	»	8	»	»	»	2	»	»	1	»	»	»	»
723 a		»	»	»	»	15	»	59	»	»	»	8	»	»	»	»	»	»	0
723 b		»	»	»	»	12	»	61	»	»	»	11	»	»	»	»	»	»	1
742 a		»	»	»	»	»	38	»	»	26	»	»	»	»	»	2	»	»	»
742 b		»	»	»	»	»	38	»	»	20	»	»	»	»	»	4	»	»	»

NUMÉRO du registre		COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours)												FACULTÉ germinative	GRAINS frais
		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
Station d'Eberswalde															
72 a	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	87	1
72 b		»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	87	2
72 c		»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	87	1
Station des Barres															
685 a	Buvard	»	»	»	»	»	0	»	»	»	»	»	»	81	»
685 b		»	»	»	»	»	4	»	»	»	»	»	»	81	»
723 a		»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	82	»
723 b		»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	85	»
712 a		»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	68	»
712 b		»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	64	»

Décroissance de la faculté germinative. — La faculté germinative des semences d'épicéa conservées en magasin décroît rapidement avec les années.

La courbe de décroissance annuelle, d'après M. Pierret, se rap-

proche beaucoup de celles relatives aux graines de pin sylvestre, de pin Laricio noir d'Autriche, etc. Avec des graines germant entre 73 à 77 °/₀ la première année, on trouve une germination de 53 à 62 °/₀ la deuxième année, de 26 à 44 °/₀ la troisième année, etc.

Nous avons tracé pour l'épicéa le graphique qui nous a permis d'établir d'une façon approchée, à l'aide des expériences de M. Pierret, la ligne de décroissance moyenne de la faculté germinative de cette semence. (Voir tableau général.)

Renseignements généraux. — D'après les essais effectués sur les échantillons reçus aux Barres, un litre de graines désailées d'épicéa pèse en moyenne $0^{kg},534$ et il renferme 65 312 graines.

Poids absolu ; nombre de graines au kilogramme :

	POIDS MOYEN de 1 000 graines — grammes	NOMBRE de graines au kilogr. —
D'après M. Pierret	8,171	122 386
D'après M. Nobbe (1876).	6,883	145 285
— — maximum . . .	8,684	218 588
— — minimum . . .	4,575	115 154
D'après Gayer	8,000	»

M. Rafn donne les résultats suivants (1900) :

	POIDS de 1 000 graines désailées —
Picea excelsa Link, Tiroler Prov.	$8^{gr},11$
— Deutscher Prov.	7 ,95
— Dänischer Prov.	8 ,00
— Schwedischer Prov.	5 ,52
— Norvegischer Prov.	5 ,50
— Finnischer Prov.	5 ,22

D'après ces chiffres, relevés sur des expériences faites avec des échantillons de provenances très diverses, le poids de 1 000 graines d'épicéa a varié de $5^{gr},22$ à $8^{gr},171$, et les semences les plus légères proviennent des régions les plus septentrionales de l'Europe ; ailleurs elles proviennent sans doute aussi des régions les plus élevées, ou encore, comme nous l'avons déjà constaté chez le pin sylvestre, des régions où la race s'est abâtardie en présence de conditions défavo-

rables de végétation et de sol. Nous pensons qu'il serait intéressant et sans doute fort utile d'étudier de très près la caractéristique des semences à cet égard.

Mélèze

(*Larix Europæa* D. C.)

Pureté. — Le nettoyage mécanique de la semence de mélèze est difficile, ce qui tient à la nature des impuretés qui se trouvent mélangées naturellement à la graine. Il est en effet d'un usage courant de désarticuler les cônes de mélèze à l'aide de machines qui brisent l'écaille et en détachent l'onglet ; cet onglet fortement lignifié se trouve réduit par la manipulation mécanique aux mêmes dimensions qu'une graine ; il en a presque la même densité, de sorte que ni le passage aux cribles, ni des vannages effectués en présence de ventilateurs, ne peuvent arriver à séparer mécaniquement la véritable graine de ses impuretés.

Seules les semences récoltées par des procédés spéciaux (à l'aide d'un gaulage des branches de mélèze pour faire tomber les semences sans détacher les cônes, ou encore la récolte directe des semences de mélèze accumulées sur la neige dans des couloirs où elles sont transportées par le vent) peuvent présenter une faible quantité d'impuretés.

Le coefficient de pureté normal de la semence de mélèze se ressent de cet état de choses ; jamais il n'atteint dans les fournitures du commerce le chiffre de 99 que nous avons constaté en 1904 dans un échantillon de mélèze envoyé par la sécherie forestière d'Embrun, et il est rare qu'il atteigne même le chiffre de 93,6 constaté en 1904 dans une fourniture du commerce faite à l'administration des eaux et forêts.

Nous avons relevé à cet égard quelques résultats obtenus sur des échantillons de provenances très diverses :

		COEFFICIENT DE PURETÉ		
		Moyenne	Maximum	Minimum
		%	%	%
Station de Tharandt, d'après Nobbe .	1876. . .	83,22	93,50	72,17
Station d'Eberswalde, d'après Schwappach.	1900. . .	84,3	»	»
	1901. . .	89	»	»
	1902. . .	81,9	»	»
Station de Zurich	1902-1903	83,3	91,5	67,4
Station des Barres	1903-1904	88,22	99	79
Station de Copenhague, d'après Rafn.	1900-1903	82,56	92	71,6

On peut admettre que le coefficient de pureté d'une bonne semence de mélèze doit, dans les conditions normales, être supérieur à 80 et même 85 °/₀.

Faculté germinative. — Les semences de mélèze renferment en grande proportion des semences vaines qu'il est très difficile de séparer des bonnes graines par un passage au tarare ou à l'aide de vannages mécaniques ; on peut expliquer la proportion excessive des graines vaines qui existent dans cette semence par le mode d'extraction qui se fait en désarticulant mécaniquement les cônes, et aussi par la petitesse des cônes de mélèze ; cette dernière circonstance modifie en effet singulièrement et dans un sens défavorable la proportion entre les semences de bonne qualité de la partie moyenne du cône et les graines mal conformées et généralement vaines qui proviennent de la base et de l'extrémité de ces cônes.

Nous avons relevé à cet égard quelques résultats obtenus sur des échantillons de provenances très diverses :

		FACULTÉ GERMINATIVE		
		Moyenne	Maximum	Minimum
		°/₀	°/₀	°/₀
Station de Tharandt, d'après Nobbe .	1876. . .	11	22	0 (1)
Station d'Eberswalde, d'après Schwappach.		42,16	51	33
Station de Zurich.	1902-1903	34	56	0
Station des Barres	1903-1904	46,8	64,5	31
Station de Copenhague, d'après Rafn .	1900-1903	54,09	60	46,55

On peut admettre que le coefficient de faculté germinative d'une bonne semence de mélèze doit, dans les conditions normales, être supérieur à 45 et même à 50 °/₀.

Valeur culturale. — D'après les chiffres précédents nous admettons que *le coefficient de valeur culturale d'une bonne semence*

1. C'est sur de pareils chiffres obtenus en contrôlant des échantillons prélevés sur des semences livrées par le commerce d'alors, que M. le professeur Nobbe a basé sa longue campagne en faveur de la création des stations d'analyse et de contrôle des semences. Les autres pays n'ont fait ensuite qu'imiter cet exemple.

de mélèze peut, dans les conditions normales, être supérieur à 40 °/₀.

Nous remarquerons qu'en ce qui concerne la semence de mélèze, la prise en considération de la pureté et de la faculté germinative, autrement dit la prise en considération de la valeur culturale, devient d'une très grande importance, en raison même de la proportion très forte d'impuretés d'une part et de semences incapables de germer, d'autre part, que renferme normalement une bonne semence.

La connaissance de la qualité exacte de la semence de mélèze, connaissance qui ne peut être établie que par les stations de contrôle, est indispensable :

1° Pour déterminer la véritable valeur marchande de la semence ;

2° Pour pouvoir régler en connaissance de cause la densité d'un semis.

Marche de la germination. Énergie germinative. — Placée dans les germoirs de la station d'essai de semences, à une température de 20° à 25° centigrades, une bonne semence de mélèze germe d'une façon régulière et assez rapide.

D'après M. Pierret, la germination commence environ vers le cinquième jour après la mise en essai et il est nécessaire d'attendre encore au moins dix jours avant de se prononcer sur la valeur finale de l'échantillon. La somme des comptages effectués ainsi jusqu'au quinzième jour après la mise en expérience donne environ les 85 centièmes de la levée totale. La durée complète de l'expérience ne se prolonge pas beaucoup et le plus souvent elle est de vingt-neuf à trente-deux jours.

Nous avons relevé, à titre d'indication, dans le tableau de la page suivante, la marche de la germination de quelques essais.

Nous sommes d'avis, d'après ces chiffres, que *l'essai de germination de la semence de mélèze peut être arrêté à trente jours*, et nous admettons comme *mesure de l'énergie germinative des graines de mélèze le pour-cent des graines germées pendant les dix premiers jours de l'essai.*

NUMÉRO du registre		COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o
		Station d'Eberswalde																
71 a	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	4	»	13	»	»	26	»	3	»	»	»	»	»
71 b	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	4	»	8	»	»	26	»	7	»	3	»	»	1
71 c	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	4	»	10	»	»	24	»	1	»	3	»	»	3
		Station des Barres																
681	Buvard	»	»	»	»	30	»	8	»	»	1	»	»	»	1	»	»	»
683	Buvard	»	»	»	»	»	32	»	10	»	»	2	»	»	»	1	»	»
686	Buvard	»	»	»	»	»	»	13	»	»	16	»	»	»	»	3	»	»
687	Buvard	»	»	»	»	»	29	»	»	5	»	1	»	»	»	3	»	»
689	Buvard	»	»	»	»	»	»	»	30	»	17	»	»	4	»	»	»	2
717	Buvard	»	»	»	»	»	»	21	»	»	21	»	4	»	»	»	2	»
744	Buvard	»	»	»	»	»	31	»	»	13	»	»	»	»	»	8	»	»

NUMÉRO du registre		COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours) 18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	FACULTÉ germinative	GRAINS frais
		°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o		
		Station d'Eberswalde											
71 a	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	46	1
71 b	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	49	»
71 c	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	45	»
		Station des Barres											
681	Buvard	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	41	»
683	Buvard	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	45	»
686	Buvard	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	32	»
687	Buvard	»	»	3	»	»	»	»	1	»	»	42	»
689	Buvard	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	54	»
717	Buvard	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	48	»
744	Buvard	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	52	»

Décroissance de la faculté germinative. — La faculté germinative des semences de mélèze conservées en magasin décroît très rapidement avec les années.

D'après M. Pierret, la semence qui germe entre 39 et 44 °/o la première année ne germe plus qu'à environ 16 ou 18 °/o la deuxième année, puis à 5 ou 8 °/o la troisième année.

Nous avons tracé pour le mélèze le graphique qui nous a permis d'établir d'une façon approchée, à l'aide des essais de M. Pierret, la ligne de décroissance moyenne de la faculté germinative des semences de cette essence (voir tableau général).

Renseignements généraux. — Suivant les provenances et les diverses causes qui ont influé sur le développement des semences, le poids de 1 000 graines de mélèze a varié de 8 grammes (maximum) à 4gr,77 (minimum). Le poids maximum de 8 grammes a été donné par le mélèze envoyé à la station des Barres en 1904 par la sécherie d'Embrun (Hautes-Alpes); cette semence a donné aux essais 99 °/₀ de pureté et 50,3 °/₀ de faculté germinative.

Les chiffres du poids absolu donné par les différents auteurs sont les suivants :

Poids de 1 000 graines de mélèze

		Moyenne	Maximum	Minimum
D'après Pierret. .	1873-1889 (échantillons reçus aux Barres)	5,898	»	»
Station des Barres.	1903-1904	6,29	8	5
D'après Nobbe . .	Tharandt, 1876	5,27	5,79	4,77
D'après Gayer.		5,5	»	»
D'après Rafn. . .	Copenhague, 1900-1904.	5,81	6,06	5,37

Notons enfin que d'après les échantillons reçus aux Barres, un kilogramme de semences renferme 169 539 graines.

Sapin pectiné

(*Abies pectinata* D. C.)

Toutes les semences du genre sapin sont très délicates, sans doute à cause de la grande quantité d'essence de térébenthine qu'elles renferment; elles se conservent très difficilement en magasin, même jusqu'au printemps qui suit leur récolte, et supportent difficilement les emballages et les transports.

M. Pierret conseille, dans le cas où les graines de sapin doivent être transportées et être conservées tout l'hiver, de retarder la récolte

le plus possible, de façon à n'avoir que des cônes bien formés et bien mûrs ; de retarder le plus possible la désarticulation des cônes, et enfin de stratifier les graines nues dans du sable frais ou dans de la balle d'avoine, comme nous l'avons indiqué précédemment.

L'expérience, en effet, paraît prouver que les semences de sapin pour lesquelles on n'a pas pris ces précautions indispensables ont perdu dès la fin de l'hiver sinon toute, tout au moins la plus grande partie de leur valeur.

Nous n'avons pas eu l'occasion de mettre en germination, aux Barres, de la semence de sapin pectiné ; une seule fourniture du commerce entrée dans les magasins des Barres a dû être refusée.

La moyenne d'environ quatre-vingts essais de graine de sapin envoyée à Zurich est la suivante :

Pureté.	87,9
Faculté germinative	20
Valeur culturale	16,6

A Eberswalde, la moyenne de quelques essais donne pour la faculté germinative trouvée 23,8 avec maximum de 31,7 et minimum de 5 %.

Des considérations qui précèdent il résulte que lorsqu'on achète au commerce une semence de sapin, il est fort utile, avant de l'utiliser, d'en contrôler la qualité.

D'après M. Pierret, la durée de l'essai de germination de la graine de sapin pectiné serait d'un mois et demi à deux mois, et la germination commencerait au bout de douze à vingt jours.

Nous pensons que pour les services de contrôle, *il suffit de prolonger l'expérience de germination jusqu'à quarante-deux jours,* à la condition qu'on aura soin de procéder à l'essai au couteau des graines qui restent dans le germoir à la fin de l'essai et de mentionner à côté du résultat de germination le nombre des graines dont la section a été reconnue fraîche et saine d'aspect ; une partie de ces graines, dont le nombre est impossible à déterminer dans la circonstance, est encore susceptible de germer plus tard.

M. Pierret donne au sujet de la semence du sapin pectiné les renseignements suivants :

Poids du litre de graines ailées	$0^{kg},256$
Nombre de graines au litre.	5 611
Poids moyen de 1 000 graines ailées	$0^{kg},256$
Nombre de graines au kilogramme	22 013

ESSENCES LIGNEUSES EXOTIQUES

Un vaste champ d'expérimentation s'offre en France à l'activité des reboiseurs en matière d'introduction d'essences exotiques, et notre pays paraît privilégié à cet égard en raison de la variété de climat, d'altitude et de sol qu'il présente dans les diverses régions.

Des arboretums nationaux ou privés, ainsi que des places d'essai disséminées sur divers points de notre territoire commencent à fournir des résultats intéressants, et l'époque paraît proche où nous pourrons dresser en France, comme on l'a déjà fait en Allemagne, un plan général de culture, précisant par régions les espèces ligneuses exotiques aptes à être introduites dans nos boisements et méritant de l'être.

Il résulte de cette situation que le commerce des semences d'arbres forestiers exotiques, déjà créé en France, est appelé à y prendre une certaine extension.

Pour effectuer avec ces essences des essais ou des travaux de reboisement, il paraît important de pouvoir se procurer un premier matériel de semences de confiance et de germination énergique. « Maint essai d'acclimatation, dit le professeur Nobbe (1) s'effectue d'une façon pénible ou échoue complètement pour la seule raison qu'on a employé des graines de mauvaise qualité qui n'ont rien donné, ou qui n'ont fourni que des plants faibles et sans résistance, alors même que l'espèce était en elle-même bien appropriée au climat allemand. C'est par des erreurs de ce genre que l'opinion s'égare, que le progrès s'arrête, et qu'on attribue l'échec obtenu à une mau-

1. « Ueber den forstlichen Samenhandel », vom Prof. Dr Nobbe (*Tharander forstliches Jahrbuch*, 1899).

vaise faculté d'acclimatation, alors qu'il ne provient exclusivement que d'un lot de graines défectueuses. »

De telles erreurs, évidemment fréquentes aussi en France, proviennent des conditions défectueuses dans lesquelles se fait actuellement le commerce des semences exotiques. La plupart des négociants, même les plus sérieux, se bornent à vérifier que la graine paraît satisfaisante à l'aspect extérieur; ils refusent de donner à leur clientèle, même en majorant leurs prix, une garantie quelconque sur la semence qu'ils livrent. Le professeur Nobbe s'élève avec force en Allemagne contre de tels procédés qui consistent à livrer à l'acheteur à des prix élevés une semence souvent absolument inerte, et cela sans accepter aucun contrôle.

La question, sans aucun doute, est délicate, car le négociant lui-même a généralement les plus grandes difficultés pour se procurer les semences dans leur pays d'origine; les acceptant telles qu'on les lui envoie, il veut trouver auprès de sa clientèle la rémunération des sacrifices d'argent qu'il a consentis pour se procurer la semence. De là la répugnance qu'il manifeste d'instinct contre tout contrôle. Mais, d'autre part, la semence doit être un être vivant susceptible de se développer; l'acheteur, qui paye souvent fort cher cet être vivant catalogué dans les prix-courants des meilleures maisons, n'a-t-il pas aussi le droit d'exiger une garantie de vie pour la graine qu'il achète? — Une semence incapable de germer est une marchandise qui n'a plus aucune valeur, quelles que soient les dépenses qu'a pu faire l'intermédiaire pour se la procurer, et il paraît impossible que l'acheteur consente longtemps à l'acquérir dans ces conditions.

« Il est indispensable, dit encore le professeur Nobbe, qu'une manière de procéder plus logique s'introduise dans le commerce allemand de semences exotiques, et cela le devient d'autant plus qu'à la suite des longs essais qui ont été exécutés en Allemagne, un certain nombre de ces semences deviennent l'objet de transactions importantes. »

Cette situation que nous venons d'exposer tient à ce que la qualité des semences exotiques a été très peu étudiée jusqu'à ce jour, qu'on ne connaît qu'imparfaitement les conditions de vitalité de ces semences, et que faute d'expériences précises, il est presque impossible de pouvoir dire aujourd'hui à un négociant quelles sont, pour une

espèce déterminée d'origine définie, les conditions de pureté, de faculté germinative et par suite de valeur culturale auxquelles doit satisfaire la semence rendue et vendue en France.

Il semble que c'est aux stations d'analyse et de contrôle des semences qu'il appartient tout d'abord de définir ces premières conditions : « Nous demandons à ces stations, dit un des négociants en semences forestières les plus importants de Danemark, de nous définir dans les conditions où nous pouvons les livrer, ce qui est bonne et ce qui est mauvaise semence [1]. » — Telle est la première question à résoudre.

Ce travail fait, il sera possible à l'acheteur de se montrer plus exigeant, et le commerce, grâce à la concurrence que se font les principales maisons sérieuses, trouvera sûrement le moyen de satisfaire à ces exigences.

Déjà d'ailleurs nous voyons un des fournisseurs de graines les plus influents de Danemark chercher à s'affranchir de cette routine, et à donner au marché des graines exotiques des bases plus précises. Ayant constaté que l'organisation actuelle et les moyens d'expérimentation des stations d'essai de semence leur permettent de faire des recherches sûres et précises dans un temps relativement court, il a demandé à ces stations (notamment à la station de Copenhague et à celle de Zürich) d'être l'auxiliaire de son commerce. Depuis 1888 il analyse ou fait analyser les graines de diverses provenances qu'il reçoit.

Ces expériences lui ont prouvé par exemple qu'en toute saison arrivent du Japon des quantités considérables de semences de mélèze (*Larix leptolepis*) qui, bien qu'elles soient payées à un prix très élevé, se montrent dès leur arrivée, à l'essai de germination, complètement sans valeur. « C'est une plaisanterie aussi bien pour nous que pour notre clientèle, dit en propres termes M. Rafn [1], que de payer à raison de 20 marks au kilogramme des sacs de semences uniquement bonnes à être jetées au tas de compost. »

---

1. « Weiteres über Samenuntersuchungen und den forstlichen Samenhandel », von Johannes Rafn (*Mitteilungen der deutschen dendrologischen Gesellschaft*, n° 10, 1901).

D'après les essais qu'a fait effectuer en 1900-1901 ce négociant à la station de Zurich, huit échantillons de mélèze japonais ont donné 12, 9, 2, 2, 1, 2, 27 et 11 °/₀ de faculté germinative. Une seule de ces fournitures, celle qui donnait 27 °/₀ de faculté germinative, pouvait être mise en vente par un commerçant sérieux.

La même année, le *Chamæcyparis obtusa* reçu à Copenhague s'est montré absolument sans valeur et n'a atteint en trente jours que 1 °/₀ de germination tandis qu'une semence reçue l'année précédente et donnant à ce moment 19,35 °/₀ germait encore à 7 °/₀ au bout d'un an et était par suite encore meilleure que la prétendue « nouvelle semence » envoyée par le Japon.

Pour le *Chamæcyparis pisifera,* une semence arrivée directement du Japon à Copenhague pendant l'automne 1899 germait à ce moment à 10,67 °/₀; mise de nouveau à l'essai au printemps suivant elle donnait 0 à l'essai de germination.

M. Rafn déduit d'un grand nombre d'expériences du même genre que si les semences qu'il reçoit directement du Japon germent seulement à 1 °/₀, c'est que son fournisseur japonais lui expédie une semence restée en magasin depuis plusieurs années avant d'être envoyée en Europe, et encore que cette semence, ayant été expédiée dans de mauvaises conditions, est restée longtemps en souffrance dans quelque port chinois. M. Rafn en conclut que le commerce ne peut se prêter à de tels procédés parce que l'acheteur ne peut accepter de payer une semence aussi inutilisable.

Si nous ne considérons plus des semences défectueuses, de valeur nulle, qu'une maison sérieuse de commerce ne doit présenter à aucun prix, mais si nous nous occupons des semences récoltées dans des conditions normales et expédiées avec les soins qu'elles exigent pour être conservées en bon état, le contrôle des stations d'essai de semences présente un autre intérêt. Il permet, comme nous l'avons précédemment démontré, de donner à la semence sa véritable valeur marchande ; il permet par suite à l'acheteur de comparer la valeur argent de la marchandise au degré d'utilité qu'il peut en tirer et de donner la préférence à la maison qui a su trouver le moyen de lui procurer dans les meilleures conditions une semence utile.

Cette considération, aussi intéressante pour le négociant en semences forestières que pour l'acheteur, nous porte à croire qu'un grand nombre de maisons sérieuses sauront se conformer aux exigences bien fondées de la situation actuelle, et qu'elles sauront trouver le moyen de se procurer, de faire voyager, de nettoyer et de présenter la semence brute quelle qu'elle soit, en vue de son utilisation pratique; de lui donner par conséquent avec intelligence et habileté une valeur marchande aussi élevée que possible.

Une telle transformation du commerce des semences exotiques est nécessaire puisqu'elle a pour but d'arriver à consentir à la meilleure marchandise le prix (quel qu'il soit[1]) qui correspond à sa valeur; cette transformation ne pourra se produire qu'avec le concours et le contrôle des stations d'essai de semences.

Nous donnons dans le tableau suivant quelques chiffres, obtenus d'une part à Copenhague par M. J. Rafn, et d'autre part dans nos essais effectués à la station d'expériences des Barres (les essais marqués d'un astérisque ont été exécutés aux Barres). Les résultats acquis jusqu'à ce jour sont trop peu nombreux pour que nous en déduisions autre chose qu'une simple indication sur la qualité des échantillons essayés.

Nous ne commenterons pas ces chiffres, les essais ayant besoin d'être entrepris sur un bien plus grand nombre d'échantillons, et nous nous contenterons d'y prendre deux exemples :

1° La semence d'*Abies nobilis* achetée à raison de 37 fr. le kilogramme valait autant que du sable et celle d'*Abies amabilis* achetée à raison de 390 fr. le kilogramme ne valait pas beaucoup plus que la précédente;

2° Sur deux fournitures de graine de *Pseudotsuga Douglasii* faites par le commerce, la plus chère des deux (31 fr. le kilogramme) valait à peu près moitié moins que l'autre, payée seulement à raison de 29 fr. le kilogramme.

---

1. On peut consentir volontiers à payer même fort cher une semence récoltée et transportée dans des conditions très onéreuses, si elle est susceptible de germer. Mais personne ne consentira longtemps à acheter en la payant un prix élevé une matière inerte, dès qu'on sera certain qu'il existe un moyen facile de vérifier qu'elle est sans valeur.

ESPÈCES DE GRAINES	POIDS de 1 000 graines	POUR-CENT de germination au bout de 10 jours	de 15 jours	de 30 jours	GRAINS frais	ESSAI de germination dans une véranda non chauffée	VALEUR culturale	OBSERVATIONS
	Grammes							
Larix leptolepis Murr.	3,76	1,17	»	3,50	»	1	2,31	Semence du Japon (1900).
— *siberica* Ledb.	11,55	6	20,30	»	»	»	»	Semence du commerce.
— —	10,20	»	»	21	»	»	»	Idem.
— —	10,50	»	»	30	»	»	»	Idem.
Libocedrus decurrens Torr.	22,70	7	»	14,50	»	24	11,60	»
— —	»	»	8	32	»	»	»	»
Picea ajanensis Fisch	»	»	»	2	»	9	»	Semence du Japon (1899).
— *alba* L. K.	3,50	80,67	90,33	93	»	86	91,11	Semence danoise.
— *alba* L. K*	4	64	67	70	»	»	»	Semence du commerce.
— *Engelmanni* Engelm.	1,21	91,67	93,17	95	»	88	94,43	Semence du Colorado.
— —*	3,5	56	76	78,7	»	»	»	Semence du commerce.
— *nigra* L. K.	»	21	72	80	»	87	»	»
— *polita* Carr	»	»	10	22	»	21	»	Semence du Japon (1899).
— *sitchensis* Trantw.	1,97	14	45	53,5	»	46	45,21	»
— —*	2,5	10	15	27	»	»	»	Semence du commerce.
— *pungens**	3,5	65	»	75,7	»	»	»	Idem.
Pinus Banksiana Lamb.	3,51	47	63	64	»	70	»	»
— *densiflora* S. et Z.	»	66	81	86	»	94	»	Semence du Japon (1899).
— *excelsa* Wall.	52,90	18	24,66	40	»	44	38	»
— *insignis* Dougl	»	14	38	52	»	48	»	»
— *monticola* Dougl. (en 200 jours)	»	»	»	33	»	23	»	»
— *parviflora* S. et Z. (en 270 jours)	144	»	»	40	»	»	39,76	»
— *ponderosa scopulorum* Engelm.	29,2	26,83	39	52,17	»	56	»	Semence du Colorado.
— *ponderosa* Dougl.*	89,83	»	»	56,6	10	»	»	Semence de l'arboretum national des Barres (1903).
— *rigida* Mill.	7,61	62	85,66	92	»	90	90,70	»
— —*	6	41,5	»	»	»	»	»	Semence de l'arboretum national des Barres (1904).
— *strobus* L.	18,10	»	2,66	20,50	»	98	»	Semence américaine (1900).
— *aristata**	23	83	»	»	»	»	»	Graine achetée au commerce à raison de 50 fr. le kilogramme.

— *contorta* *	»	»	»	6	10	»	»	
— *balfoureana* *	»	83,5	96	»	1	»	»	Semence achetée en Amérique à raison de 59 fr. le kilogramme.
— *balfoureana aristata* *	»	»	68	»	0	»	»	Semence achetée en Amérique à raison de 59 fr. le kilogramme.
— *flexilis* *	»	»	»	36	56	»	»	Semence achetée en Amérique à raison de 83 fr. le kilogramme.
— *murrayana* *	»	»	»	4,5	89	»	»	Semence achetée en Amérique à raison de 126 fr. le kilogramme.
Pseudotsuga Douglasii Carr	11,80	82,50	92,66	94	»	90	87,42	Semence du Colorado.
— —	11,60	2,33	7,50	36	»	67	»	Semence de l'Orégon.
— —*	8,3	13	»	45	»	»	»	Semence du commerce achetée à raison de 29 fr. le kilogramme.
— —*	11,00	36	»	78	»	»	»	Semence du commerce.
— —*	»	2	9	24	»	»	»	Semence achetée en Amérique à raison de 31 fr. le kilogramme.
Abies balsamea Mill.	9,31	20	33,66	50	»	45	47,59	Semence danoise.
— *cephalonica* L. K	»	»	»	10	»	44	»	»
— *concolor* Lindl	31,21	31,66	65,33	69	»	68	68,31	Semence du Colorado.
— *grandis* Lindl.	11,50	26,50	35,5	53,67	»	»	52,65	»
— *nobilis* Lindl	»	»	6	14	»	6	»	Semence écossaise.
— — *glauca* Hort.	40,50	5	»	43	»	22	41,28	Idem.
— *nobilis* * Lindl	25	0	0	0	0	»	0	Semence achetée au commerce à raison de 37 fr. le kilogramme.
— *nordmanniana* L. K.	64	»	»	9,5	»	28	8,12	»
— —*	62,3	1	2	4	2	»	»	Semence du commerce.
— *pinsapo* Boiss.	46,70	5	12,33	35	»	32,58	»	»
— —*	51	»	31	34	»	»	»	Graine récoltée aux Barres (1903).
— *siberica* Ledb.	9,73	18	30,50	»	»	24	27,60	»
— *subalpina* Engelm.	11,80	2,33	6,66	10,50	»	»	9,82	»
— *spectabilis* *	»	»	»	0	0	»	»	»
— *amabilis* * Forbes	»	»	»	7	2	»	7	Graine achetée en Amérique à raison de 390 fr. le kilogramme.
— *magnifica chastensis* *	»	»	14	14	0	»	14	Graine achetée en Amérique à raison de 83 fr. le kilogramme.
— *arizonica argentea* *	»	»	11	11	0	»	11	Semence achetée en Amérique à raison de 420 fr. le kilogramme.
Chamæcyparis Lawsoniana Parl.	2,10	42,67	»	59,50	»	43	55,93	Semence danoise.
— *obtusa* S. et Z.	»	»	6	7	»	7	»	Semence du Japon (1899).
— —	»	»	1	»	»	0	»	Semence du Japon (1900).
— *pisifera* S. et Z.	»	»	0	»	»	0	»	Semence du Japon (1899).
Keteleeria du Yunnan *	84,00	8	24	27	0	»	»	Semence d'origine.

Dans ces conditions les transactions relatives aux semences exotiques doivent être établies sur d'autres bases plus sérieuses.

Le professeur Nobbe a demandé à la Société dendrologique allemande, en 1899, s'il ne serait pas possible d'établir par son intermédiaire des relations directes dans les pays d'origine d'espèces exotiques déjà connues, afin d'assurer la livraison de bonnes semences, laissant entendre qu'une telle manière de procéder serait susceptible de prendre dans l'avenir des proportions avec lesquelles le commerce des graines aurait à compter.

Nous pensons que de telles mesures ne deviendront pas nécessaires, parce qu'un honorable marchand de graines est un intermédiaire désigné entre l'acheteur et le producteur; qu'il a le moyen, mieux que tout autre, d'établir ces relations avec les pays d'origine, et qu'il est obligé, s'il veut conserver de bonnes relations avec sa clientèle, de ne pas livrer des semences qu'on trouvera stériles au premier essai de germination. Par le fait de son commerce, c'est à lui qu'il appartient de prendre les mesures nécessaires pour apporter sur le marché des produits ayant une valeur marchande aussi élevée que possible, et par suite de justifier, dans son propre intérêt, la véritable valeur de cette marchandise.

Un petit nombre de maisons de commerce qui disposent de correspondants et de relations dans toutes les parties du monde, se décident aujourd'hui à présenter dans leurs catalogues les principales essences forestières exotiques; quelques-unes cherchent à régler leurs achats dans les pays d'origine sur la valeur culturale des semences elles-mêmes. Si les autres maisons sérieuses veulent suivre ce bon exemple (et nous pensons qu'elles ne peuvent déjà plus faire autrement pour toutes les semences recommandées dont l'usage se répand de plus en plus), le commerce des semences forestières exotiques sera vite profondément modifié, car les correspondants étrangers seront obligés de n'envoyer que des graines de bonne qualité et de trouver le moyen de faire voyager ces semences dans les conditions les plus favorables.

Il y a environ vingt-cinq ans, les choses se sont passées ainsi pour les semences agricoles. Malgré une opposition systématique, les fournisseurs de graines n'ont pu résister à cette loi du progrès parce que

les stations d'essai de semences leur ont opposé des résultats d'expériences précises exécutées sur des fournitures de qualité déplorable. La conséquence de cet effort a été d'amener et une amélioration sensible de la valeur réelle des graines agricoles, et un abaissement du prix de ces graines. Il appartient aux stations d'analyse et de contrôle de semences forestières d'obtenir, par leur influence auprès des intéressés, le même résultat en ce qui concerne le commerce des graines forestières.

(*A suivre.*)

Le Directeur-Gérant : L. GRANDEAU.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

DE LA DEUXIÈME SÉRIE

(1894-1905)

	Années.	Tomes.	Pages.
Action du sulfure de carbone sur quelques champignons et ferments et en particulier sur la fermentation nitrique, par J. Perraud.	2e	I	291
Agriculture coloniale : Les textiles végétaux des colonies, par H. Lecomte	2e	II	1
Alimentation rationnelle de la vache laitière. Contrôle de son rendement, par J. Alquier	10e	II	100
Amélioration de la culture de la pomme de terre, par A. Girard	2e	I	453
Analyse et contrôle des semences forestières, par A. Fron	10e	II	332
Antoine Ronna, 1830-1902, par L. Grandeau (avec un portrait)	8e	I	423
Application de la pomme de terre à l'alimentation du bétail. Production de la viande (avec 5 diagrammes), par Aimé Girard	1re	I	330
Application des levures sélectionnées en vinification, par E. Kayser	5e	II	130
Arthur Petermann, 1845-1902, par L. Grandeau (avec un portrait)	8e	I	433
Calcul de l'indemnité à laquelle a droit l'acheteur des aliments concentrés du commerce en cas de manquant de graisse, d'albumine, etc., par D. Crispo. .	1re	II	294
Champ d'expériences de la Station agronomique de la Loire-Inférieure, par A. Andouard	5e	II	456
Composition des betteraves sucrières très riches de la campagne 1898, par J. Graftiau.	5e	II	173
Congrès international d'agriculture de Bruxelles . . .	1re	II	271 à 483
Congrès international des directeurs des stations agronomiques (1900)	7e	II	38 à 99

	Années.	Tomes.	Pages.
Considérations générales sur l'état de l'agronomie, par le Cte de San Bernardo. Traduit de l'espagnol par G. Wolfrom	10e	II	402
Contribution à la biologie des levures, par E. Kayser et Fr. Dienert	7e	I	99
Le même (2e mémoire)	7e	I	399
Contribution à l'étude de l'assimilation des matières minérales du sol par les plantes, par J. Crochetelle	8e	II	33
Contribution à l'étude du vanillier, par L. Grandeau	3e	II	295
Coup d'œil général sur les progrès de la meunerie, par E. Fleurent	10e	I	419
Croissance, alimentation et prix de revient des jeunes animaux de l'espèce bovine (avec 5 planches), par F. Lefebvre	1re	II	1
Dangers que peut offrir l'emploi des boues de ville comme fumure des pâturages, par F. Claes et B. Moens	1re	II	337
De la valeur agricole des scories de déphosphoration, par L. Grandeau	3e	II	432
De l'effet des arrosages tardifs sur la production de la vendange, par A. Müntz et Ed. Alby	5e	I	296
De l'utilisation, pour la consommation publique, des viandes provenant d'animaux tuberculeux, par H. Raquet	1re	II	340
Détermination du degré alcoolique des vins, par J. Dugast	10e	I	325
Dix années d'expériences agricoles à Cloches (avec 10 diagrammes), par C. V. Garola	3e	I	58
Dosage de l'acide phosphorique dans les matières organiques par le procédé de A. Neumann, par E. Poher	8e	I	441
Dosage de l'acide phosphorique par titration du phosphomolybdate d'ammoniaque, par P. Nyssens	7e	II	91
Douze années de culture de topinambours dans un même champ, par G. Lechartier	4e	I	121
Du rôle de la lécithine dans les plantes, par F. Schlagdenhauffen et E. Reeb	7e	II	458
Du rôle de la porosité des poteries usitées en horticulture, par A. Petit	7e	I	138
Échantillonnage des terrains salants. Façon de présenter les résultats de l'analyse ; suite des Études sur les terrains salants de la Californie, par Hilgard et Loughridge. Résumé par J. Vilbouchevitch (avec 7 diagrammes)	3e	II	394

	Années.	Tomes.	Pages.
Emploi du nitrate de soude et des engrais chimiques en agriculture et en viticulture. Résultats des champs de démonstration, expériences et concours, obtenus, en 1898, dans vingt-cinq départements . .	5e	I	38
Le même (*suite*) [avec une planche].	5e	I	360
Emploi du nitrate de soude et des engrais chimiques en agriculture et en viticulture. Résultats des champs de démonstration, expériences et concours, obtenus, en 1903, en France, en Suisse, en Algérie et en Tunisie.	9e	II	210
Encore un salt-bush, par J. Vilbouchevitch	4e	II	268
Essai d'introduction d'essences exotiques dans les forêts de Prusse et d'Autriche, par R. Hickel . . .	8e	I	142
Essais d'irrigation en forêt faits près de Vienne (Autriche), par Böhmerle et Dr Cieslar.	10e	II	124
État statistique des stations agronomiques et des laboratoires agricoles en 1902	8e	I	448
Étude de quelques vins malades, par E. Kayser et G. Barba	4e	I	25
Étude des qualités industrielles du cocon du *Bombyx mori* en 1895, par J. Raulin	2e	I	301
Étude des terres de colonisation de la commune de Cavaignac (Algérie), par J. Dugast (avec 3 planches).	7e	I	425
Étude sur l'absorption des dissolutions nutritives par le grain de blé et son influence sur la germination, par Vincent (avec 2 diagrammes)	4e	II	272
Étude sur l'acide phosphorique dissous par les eaux du sol, par Th. Schlœsing fils.	5e	I	316
Étude sur la composition des terres de la Camargue, la composition des sables du cordon littoral rhodanien, la nature du salant de la Camargue, par G. Gastine.	4e	I	240
Étude sur la situation agricole et industrielle de l'Égypte (avec une planche), par Ch. Pensa	2e	II	327
Étude sur la valeur agricole des terres de Madagascar, par A. Müntz et E. Rousseaux	7e	I	1
Le même (*suite*)	7e	I	152
Le même (*fin*) [avec une carte]	7e	I	296
Étude sur la vesce velue, par G. Lechartier.	2e	I	102
Étude sur l'emploi des engrais phosphatés sur les terres de l'infracrétacé de la Puisaye, par M. Potier.	3e	II	136
Étude sur les conditions de la production du beurre dans les Pays-Bas (*suite*), par H. Coudon et E. Rousseaux (avec une planche de deux cartes).	7e	II	211
Étude sur les kirschs, par E. Kayser et Fr. Dienert .	10e	I	209
Étude sur le *Soja hispida*. Culture et composition, par G. Lechartier	8e	I	380

	Années.	Tom.	Pages.
Étude sur le vignoble de Chablis. Les conditions de la production du vin et les exigences de la vigne en principes fertilisants, par E. Rousseaux et G. Chappaz (avec une carte)	9e	I	71
Étude sur quelques stations agronomiques allemandes. — Deuxième partie : Station agronomique de Halle (*suite*), par E. Saillard	2e	I	70
Études expérimentales sur l'alimentation du cheval de trait :			
7e mémoire, par L. Grandeau, H. Ballacey et A. Alekan	2e	II	113
8e mémoire, par L. Grandeau et A. Alekan	9e	I	30
Le même (*suite*) [avec 2 planches]	9e	I	330
Études sur la canne à sucre ; dosage du sucre, composition de la canne, échantillonnage, par H. Pellet	3e	I	415
Le même (*suite et fin*)	3e	II	1
Études sur la pomme de terre. Essais de nouvelles variétés ; composition et valeur culinaire, par A. Petermann	7e	II	197
Études sur la végétation dans ses rapports avec l'aération du sol. — Recherches sur les plantations des promenades de Paris (avec une planche), par L. Mangin	2e	I	1
Études sur la vinification dans le canton de Neuchâtel, faites aux vendanges de 1897, par E. Rousseaux.	4e	II	1
Études sur la vinification et sur la réfrigération des moûts, par A. Müntz et E. Rousseaux	2e	I	321
Études sur les vers à soie, par J. Raulin	1re	II	45
Études sur les vignobles à hauts rendements, par A. Müntz	7e	II	402
Existe-t-il une relation constante entre la solubilité des scories de déphosphoration dans le citrate d'ammoniaque acide et le poids de la récolte produite ? par A. Petermann et J. Graftiau	3e	II	445
Expériences d'alimentation à la pomme de terre, par Cormouls-Houlès	1re	I	426
Expériences d'alimentation au sucre, par Alekan	7e	II	38
Expériences d'ensilage des betteraves et des pulpes, par L. Malpeaux et G. Lefort	10e	II	226
Expériences préliminaires pour déterminer, dans la terre végétale, la partie dite assimilable de l'acide phosphorique, par le Dr Alexius de Sigmond	6e	II	451
Expériences sur l'amélioration de la culture des racines fourragères, par C. V. Garola	4e	I	422
Expériences sur l'espacement des cultures, par J. Raulin	2e	I	394

	Années.	Tomes.	Pages.
Expériences sur l'influence de la variation des climats sur la végétation, par J. Raulin	2e	I	311
Falsifications des graisses industrielles et comestibles. — Procédés à employer pour les reconnaître, par A. Müntz, Ch. Durand et E. Milliau	4e	II	113
Fixation de l'azote atmosphérique par les feuilles mortes en forêt, par E. Henry	8e	II	313
Glycogénie et alimentation rationnelle au sucre, par J. Alquier et Dr A. Drouineau	8e	I	246
Le même (*suite*)	8e	II	45 et 226
Le même (*suite*)	8e	II	334
Le même (*suite*)	9e	I	124 et 358
Le même (*suite et fin*) [avec 2 planches]	9e	II	98
Influence de la couverture morte sur l'humidité du sol forestier, par Ed. Henry	7e	II	182
Influence de la nature du terrain sur les diverses récoltes, par J. Raulin	2e	I	410
Influence de l'espacement sur le rendement des betteraves, par A. Couraud et A. Andouard	5e	II	469
Influence des dégagements d'anhydride sulfureux sur les terres et sur la production agricole, par A. Damseaux	2e	I	121
Influence des forêts sur les eaux souterraines. Excursion hydrologique de 1895 dans les forêts des steppes, par P. Ototzky	3e	II	455
Influence des forêts sur les eaux souterraines (Excursion hydrologique de 1897 dans les forêts septentrionales), par P. Ototzky	5e	II	300
Influence des proportions d'éléments fertilisants sur les récoltes, par J. Raulin	2e	I	404
J. Raulin, directeur de la Station agronomique du Rhône, par L. Grandeau	2e	I	387
La chlorose des plantes et les moyens de la combattre, par Arkadij Dmentjew, de Tiflis	9e	II	63
L'acide nitrique dans les eaux de rivière et de source, par Th. Schlœsing	3e	II	75
L'acide phosphorique dissous par les eaux du sol; son utilisation par les plantes, par Th. Schlœsing fils.	7e	II	77
La couverture morte des forêts et l'azote, par le Dr Hornberger	10e	I	220

	Années.	Tomes.	Pages.
La culture des céréales en France à dix ans de distance (1889 à 1898), par L. GRANDEAU	5e	II	440
La décomposition des matières organiques et les formes d'humus dans leurs rapports avec l'agriculture, par le Dr WOLLNY	4e	II	339
Le même (*suite*)	5e	I	208
Le même (*suite*)	5e	II	1 et 260
Le même (*suite*)	5e	II	362
Le même (*suite*)	6e	I	1
Le même (*suite*)	6e	II	33
Le même (*fin*)	6e	II	338
La désinfection des engrais liquides, par le Dr VAN ERMENGEM	2e	I	271
La formation de l'ammoniaque dans les vins, par A. MÜNTZ et E. ROUSSEAUX	3e	I	400
La fumure du cotonnier, par L. GRANDEAU	2e	II	253
L'agriculture à Malte, par E. FALLOT	7e	II	378
L'alimentation sucrée par les betteraves desséchées, par A. MÜNTZ et A. Ch. GIRARD	10e	I	154
La lutte contre les campagnols, par G. MARSAIS	9e	II	1
La lutte contre l'*Oceneria dispar* aux États-Unis (avec une planche color.), par E. HENRY	2e	I	276
La maturation des raisins en Algérie (avec 7 planches), par J. DUGAST et J. POUSSAT	1re	I	260
L'amélioration de la betterave à sucre au début du vingtième siècle, par A. BRUNO	9e	I	272
La nutrition minérale des arbres des forêts, par EBERMAYER	1re	I	234
La production des orges de malterie, par A. DAMSEAUX	2e	I	215
La question sucrière en 1903. Valeur et rôle alimentaires du sucre chez l'homme et chez les animaux, par L. GRANDEAU	8e	I	1
La sécheresse en 1893, par L. GRANDEAU	1re	II	242
La sidération par les lupins et la restauration économique du sol épuisé des pinières, par le Dr VERSTAPPEN	1re	II	349
La station de climatologie agricole de Juvisy. Première année (1894), par C. FLAMMARION (avec 16 diagrammes)	5e	I	1
La station de Valouyskaya, par B. BOGDAN	7e	II	52
La température des fermentations en Algérie (avec 9 planches), par J. DUGAST	1re	I	273
La Tunisie. Histoire de la colonisation, par Ch. RIBAN	1re	II	390
La ville de Paris et l'eau. Lettres au directeur du *Temps* (décembre 1904 à mai 1905), par L. GRANDEAU	10e	I	342
L'azote et la végétation forestière, par E. HENRY	3e	II	359

	Années.	Tomes.	Pages.
Le champ d'expériences du Parc des Princes (1892-1897). Six années d'expériences de culture. Première série : 1892 à 1894, par L. Grandeau et E. Bartmann (avec un plan)	10e	I	237
Le même. Deuxième série : 1895-1897	10e	II	288
Le commerce des produits agricoles aux États-Unis, par L. Grandeau	7e	I	461
Le fumier de ferme et les engrais minéraux dans la culture maraîchère. Expériences faites, en 1894, à Golden Green, Tumbridge, par M. Bernard Dyer, par L. Grandeau	1re	II	25
Le laboratoire de biologie végétale de Fontainebleau, par H. Mamelle	7e	II	100
Le monde des infiniment petits et l'agriculture, par L. Grandeau	10e	I	450
Le nitrate de soude et le perchlorate de potasse. Remarques à propos de quelques insuccès dans la culture du seigle, par L. Grandeau	4e	I	84
Le nitrate de soude perchloraté. Ses effets sur la végétation, par H. Pellet et G. Fribourg	8e	II	199
L'origine du nitrate de soude au Chili, par W. Newton	4e	I	40
Le phosphate de chaux et l'alimentation du bétail, par L. Grandeau	10e	II	1
Le pin sylvestre est il calcifuge ? Étude comparée des conditions de végétation du pin dans les sols siliceux et dans les sols calcaires, par Dmitri Morosov	1re	I	289
Le privilège du propriétaire, par A. Lonay	1re	II	379
Le prolongement, chez le sujet alimenté, du processus de dépense énergétique de l'état d'inanition d'après les échanges respiratoires pendant le travail, par A. Chauveau	10e	I	191
Le rôle des plantes dans la dissolution des principes nutritifs du sol qui se trouvent à l'état non dissous, par le professeur Kossowitsch. Traduit par Bresson	8e	I	220
Les produits chimiques employés à la stérilisation des excréments humains sont-ils nuisibles aux plantes agricoles et aux microbes bienfaisants du sol ? par A. Petermann	3e	II	120
Les progrès de la vinification dans l'Aude, par Lucien Semichon	3e	I	292
Les scories de déphosphoration : origine, production européenne, composition, emploi, application aux diverses cultures, par L. Grandeau	2e	II	410
Le même (*suite et fin*)	3e	I	1
Les bases du prix de vente des scories de déphosphoration, par J. Graftiau	5e	II	117

	Années.	Tomes.	Pages.
Les cartes agronomiques de l'arrondissement de Meaux (Seine-et-Marne), France, par J. Bénard	2e	I	264
Les forêts de plaine et les eaux souterraines :			
I. Expériences faites en Russie, de novembre 1901 à octobre 1902, par A. Tolsky (avec une planche)	8e	I	397
II. Expériences faites en France, 1900-1902, par E. Henry (avec 2 planches)	8e	I	403
Les forêts et les eaux souterraines dans les régions de plaines, par E. Henry	4e	I	1
Les gisements de phosphates de chaux d'Algérie, par L. Grandeau	3e	II	213
Les irrigations, par Th. Lebens	2e	I	243
Les laboratoires d'analyses de l'État. Rapport présenté à l'assemblée générale extraordinaire du 18 décembre 1898, par J. Graftiau	5e	II	122
Les maladies de la vigne en Portugal pendant l'année 1894, par Verissimo d'Almeida et João da Motta Prego	1re	II	140
Les microbes du sol. Conférence faite à l'assemblée générale de la Société nationale d'encouragement à l'agriculture. Séance du 23 mars 1905, par E. Kayser	10e	I	432
Le *Solanum Commersoni* et ses variations, à Verrières (Vienne), par J. Labergerie	10e	I	57
Le sucre et l'alimentation de l'homme et des animaux, par L. Grandeau	4e	II	432
Le sulla ou sainfoin d'Espagne et d'Algérie. Sa valeur comme plante fourragère et comme engrais vert, par L. Grandeau	1re	II	474
Le titane, par H. Pellet et Ch. Fribourg	10e	II	20
Les stations agronomiques aux États-Unis, en Allemagne et en France : leurs ressources et leur développement, par L. Grandeau	7e	I	453
Les vins d'Algérie au point de vue de leur constitution chimique, par J. Dugast	10e	I	309
L'humidité du sol et du sous-sol dans les steppes russes boisées ou nues (Véliko-Anadol), par G. Wyssotzky	6e	II	120
L'hylobe et l'hylésine du pin dans la Haute-Marne, par E. Henry (avec une planche)	10e	I	140
Lois spéciales pour combattre la falsification des engrais, des substances alimentaires pour bétail et des semences, par A. Petermann	1re	II	277
Marche de la température et de la fermentation dans l'ensilage des fourrages verts, par Albert Vauchez et feu Pol Marchal. En collaboration avec MM. Fleckinger et Bonnétat (avec 9 planches)	6e	II	1

	Années.	Tomes.	Pages.
Méthodes conventionnelles adoptées par les laboratoires belges, les stations agricoles hollandaises et la station agricole du grand-duché de Luxembourg pour l'analyse des matières fertilisantes et des substances alimentaires du bétail.	5e	II	159
Note sur le dosage des sucres réducteurs par la méthode de Lehmann, modifiée par M. Maquenne, par L. Massol et A. Gallemand.	10e	II	85
Note sur l'organisation de la Ligue des paysans ou Boerenbond, par A. Theunis	2e	I	148
Notes sur le champ d'expériences du Parc des Princes, par L. Grandeau	7e	I	254
Nouvelle méthode pour la recherche de la falsification du beurre par l'huile de coco et ses diverses formes commerciales, par A. Müntz et H. Coudon.	9e	I	1
Nouvelles études sur la vinification et sur la réfrigération des moûts faites aux vendanges de 1896, par A. Müntz et E. Rousseaux.	3e	I	374
Nouvelles observations sur la composition des beurres, par A. Pagnoul	7e	II	62
Nouvelles observations sur la fragmentation des tubercules de plant de pomme de terre, par A. Girard. .	2e	I	428
Nouvelles recherches au sujet de l'influence attribuée à la richesse en fécule des plants de pomme de terre sur l'abondance et la richesse des récoltes, par A. Girard	2e	I	440
Observation relative au dosage des matières organiques dans les eaux, par Pagnoul	4e	II	95
Observations sur le mémoire du Dr Hornberger intitulé : « La couverture morte des forêts et l'azote », par E. Henry.	10e	I	231
Observations sur le rendement cultural et sur la teneur en fécule de plusieurs variétés de pommes de terre industrielles et fourragères, par A Girard.	4e	I	46
Origine de l'arsenic contenu dans certaines bières, par A. Petermann	7e	II	392
Procédés pour reconnaître la fraude des beurres par les matières grasses animales et végétales, par A. Müntz.	1re	I	303
Prophylaxie de la tuberculose bovine, par E. Nocard .	2e	I	139
Quelques données statistiques sur la production et la consommation des céréales alimentaires dans le monde, par L. Grandeau	4e	II	187

	Années.	Tomes.	Pages.
Quelques observations sur la production du blé en France, par L. Grandeau	7e	I	117
Quelques recherches relatives aux matières azotées du sol, par Pagnoul	4e	II	97
Rapport sur la composition des beurres des Pays-Bas, par H. Coudon et E. Rousseaux	7e	II	1
Rapport sur la conservation du fumier, par A. Müntz	1re	II	311
Rapport sur les accidents provoqués par l'emploi du nitrate de soude au printemps 1896, par M. Crispo	4e	I	92
Rapport sur les procédés à employer pour reconnaître les falsifications des huiles d'olive comestibles et industrielles, par A. Müntz, Ch. Durand et E. Milliau	1re	II	154
Rapport sur les stations agronomiques et les laboratoires agricoles, par L. Grandeau	1re	II	271
Rapport sur le travail de M. E. Fleurent intitulé : « Recherches sur la composition immédiate et élémentaire des matières albuminoïdes extraites du grain des céréales et des graines des légumineuses ; conséquences pratiques de cette étude », par A. Livache	4e	I	418
Rapport sur les vins des terrains salés de l'Algérie, par L. Roos, E. Rousseaux et J. Dugast	6e	II	276
Rapports entre le propriétaire et l'exploitant du sol, par O. Schmitz	1re	II	361
Recherches comparées sur quelques procédés de désinfection à employer dans les industries de fermentation et dans la lutte contre le *Merulius lacrymans*, par G. Wesenberg	9e	II	82
Recherches de M. Bernard Dyer sur l'approvisionnement probable du sol en principes fertilisants, par L. Grandeau	1re	I	433
Recherches expérimentales sur l'assimilation de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique par les plantes supérieures, par M. Laurent	3e	II	175
Recherches expérimentales sur la culture de la fraise dans les environs de Paris, par H. Coudon	5e	II	317
Recherches expérimentales sur la culture et l'exploitation des vignes (*suite*), par A. Müntz	1re	I	1
Recherches sur la composition de terres de la Crau et des eaux et limons de la Durance, par G. Gastine	4e	I	155
Recherches sur la composition immédiate et élémentaire des matières albuminoïdes extraites du grain des céréales et des graines des légumineuses ; conséquences pratiques de cette étude, par E. Fleurent	4e	I	371

	Années.	Tomes.	Pages.
Recherches sur l'action exercée par différents agents physiques et chimiques sur le gluten des farines de blé. Conditions du dosage de cet élément, par E. Fleurent	9e	II	450
Recherches sur la consommation d'aliments et d'énergie des bœufs adultes à l'engrais, par Kellner et Kohler. Traduit de l'allemand par M. A. Couturier.	4e	II	303
Recherches sur la fumure minérale de la betterave à sucre en 1895, par A. Vivier	2e	I	374
Recherches sur la pomme de terre alimentaire, par Henri Coudon et Léon Bussard	3e	I	250
Recherches sur le développement progressif de la grappe de raisin, par A. Girard et L. Lindet	5e	II	179
Recherches sur l'intervention de l'ammoniaque atmosphérique dans la nutrition végétale, par A. Müntz	2e	I	161
Recherches sur les échanges d'énergie et leurs rapports avec les échanges nutritifs chez le bœuf adulte à la ration d'entretien, par le Dr Kellner. Traduit de l'allemand par M. A. Couturier	4e	II	229
Recherches sur les exigences du tabac en principes fertilisants, par A. Ch. Girard et E. Rousseaux	7e	II	297
Le même (*suite*)	8e	I	329
Le même (2e partie) [avec une planche]	9e	I	376
Le même (2e partie) [*suite et fin*]	9e	II	16
Recherches sur les quantités de matières fertilisantes nécessaires à la culture intensive de la pomme de terre, par A. Girard	3e	II	261
Résistance au salant et autres sujets. Suite des Études sur les terrains salants de la Californie, par E. W. Hilgard, R. H. Loughridge, J. Burtt Davy, E. J. Wickson, A. B. Leckenby et Ch. Sinn. Résumé par J. Vilbouchevitch	4e	II	401
Résumé des travaux de la Station agronomique du Pas-de-Calais, par A. Pagnoul	1re	II	104
Rothamsted. Un demi-siècle d'expériences agronomiques de MM. Lawes et Gilbert, par A. Ronna (avec 2 portraits)	6e	I	30
Le même (*suite et fin*)	6e	II	139
Station agronomique de l'État à Gembloux : Rapport sur les travaux de 1895, par A. Petermann	2e	II	238
Station agronomique de l'île Maurice : Rapport sur les travaux de 1895, par P. Boname	2e	II	265
— Rapport sur les travaux de 1896, par le même	3e	II	307
Sur la décomposition des feuilles mortes en forêt, par E. Henry	8e	II	382

	Années.	Tomes.	Pages.
Sur la décomposition des matières albuminoïdes pendant la germination, par Dm. Morosow.	2e	I	425
Sur la formation et la conservation du fumier de ferme, par H. Joulie.	3e	I	193
Sur la possibilité d'une culture avantageuse de la betterave à sucre dans certains terrains salants, par Hilgard et Loughridge. Résumé par J. Vilbouchevitch.	3e	II	382
Sur le dosage de la chaux dans les terres, par J. Laborde	7e	II	82
Sur le dosage de la quantité de beurre contenu dans la margarine, par A. Müntz et H. Coudon	3e	II	281
Sur le rôle des forêts au point de vue des services indirects, par Henry Lafosse	8e	II	288
Sur le rôle hydrogéologique des forêts dans les régions montagneuses, par M. Ototzky.	9e	II	48
Sur les relations des dissolutions contenues dans les sols avec les phosphates employés comme engrais, par M. Th. Schloesing.	7e	I	406
Sur l'utilisation agricole d'un résidu industriel (poussières des hauts fourneaux), par Colomb-Pradel . .	5e	I	287
Terres de marais septentrional de la Vendée : leur composition et leur épuisement par une culture sans engrais, par M. Artus	7e	I	288
Tourteaux de graines oléagineuses. Examen macroscopique et microscopique. Diagnose, par L. Bussard et G. Fron	7e	II	117 et 138
Tourteaux de graines oléagineuses : origine, composition, utilisation, caractères macroscopiques et microscopiques, diagnose, par les mêmes (*suite*).	10e	I	1
Travaux de la commission chargée de l'unification internationale des méthodes d'analyse.	8e	II	1
Unification internationale des méthodes d'analyse dans les stations agronomiques et les laboratoires agricoles, par A. Mayer.	7e	II	48
Valeur agricole des scories Martin, par A. Petermann .	7e	II	397
Vingt années d'expériences sur l'alimentation du cheval de trait, par L. Grandeau et A. Alekan	10e	II	138

TABLE ALPHABÉTIQUE DES NOMS D'AUTEURS

DE LA DEUXIÈME SÉRIE

(1894-1905)

	Années.	Tomes.	Pages.
Alby (Ed.). — *Voir* Müntz (A.).			
Alekan (A.). — Expériences d'alimentation au sucre.	7e	II	38
— *Voir* Grandeau (L.).			
Alexius de Sigmond (Dr). — Expériences préliminaires pour déterminer, dans la terre végétale, la partie dite assimilable de l'acide phosphorique .	6e	II	451
Almeida (Verissimo d') et Motta Prego (Joao da). — Les maladies de la vigne en Portugal pendant l'année 1894.	1re	II	140
Alquier (J.) et Dr A. Drouineau. — Glycogénie et alimentation rationnelle au sucre.	8e	I	246
— Le même (*suite*)	8e	II	45 et 226
— Le même (*suite*)	8e	II	334
— Le même (*suite*)	9e	I	124 et 358
— Le même (*suite et fin*) [avec 2 planches].	9e	II	98
— Alimentation rationnelle de la vache laitière. Contrôle de son rendement.	10e	II	100
Andouard (A.). — Champ d'expériences de la Station agronomique de la Loire-Inférieure.	5e	II	456
— *Voir* Couraud (A.).			
Arkadij Dmentjew, de Tiflis. — La chlorose des plantes et les moyens de la combattre	9e	II	63
Artus. — Terres du marais septentrional de la Vendée; leur composition et leur épuisement par une culture sans engrais	7e	I	288
Ballacey (H.). — *Voir* Grandeau (L.).			
Barba (G.). — *Voir* Kayser (E.).			
Bartmann (E.). — *Voir* Grandeau (L.).			
Bénard (J.). — Les cartes agronomiques de l'arrondissement de Meaux (Seine-et-Marne), France. .	2e	I	264

	Années.	Tomes.	Pages.
Böhmerle et **Dr Cieslar.** — Essais d'irrigation en forêt faits près de Vienne (Autriche).	10e	II	124
Bogdan (**B.**). — La station de Valouyskaya	7e	II	52
Bonâme (**P.**). — Station agronomique de l'île Maurice : Rapport sur les travaux de 1895	2e	II	265
— — Rapport sur les travaux de 1896	3e	II	307
Bonnétat. — *Voir* Vauchez (Albert).			
Bresson. — Le rôle des plantes dans la dissolution des principes nutritifs du sol qui se trouvent à l'état non dissous, par le professeur Kossowitsch. Traduction	8e	I	220
Bruno (**A.**). — L'amélioration de la betterave à sucre au début du vingtième siècle.	9e	I	272
Burtt Davy (**J.**). — *Voir* Hilgard (E. W.).			
Bussard (**L.**) et **G. Fron.** — Tourteaux de graines oléagineuses. Examen macroscopique et microscopique. Diagnose	7e	II	117 et 238
— Tourteaux de graines oléagineuses : Origines, composition, utilisation, caractères macroscopiques et microscopiques, diagnose (*suite*)	10e	I	1
— *Voir* Coudon (H.).			
Chappaz (**G.**). — *Voir* Rousseaux (E.).			
Chauveau (**A.**). — Le prolongement, chez le sujet alimenté, du processus de dépense énergétique de l'état d'inanition d'après les échanges respiratoires pendant le travail	10e	I	191
Cieslar (**Dr**). — *Voir* Böhmerle.			
Claes (**F.**) et **B. Moens.** — Dangers que peut offrir l'emploi des boues de ville comme fumure des pâturages	1re	II	337
Colomb-Pradel. — Sur l'utilisation agricole d'un résidu industriel (poussières des hauts fourneaux)	5e	I	287
Cormouls-Houlès. — Expériences d'alimentation à la pomme de terre	1re	I	426
Coudon (**H.**). — Recherches expérimentales sur la culture de la fraise dans les environs de Paris. .	5e	II	317
Coudon (**Henri**) et **Léon Bussard.** — Recherches sur la pomme de terre alimentaire.	3e	I	250
Coudon (**H.**) et **E. Rousseaux.** — Rapport sur la composition des beurres des Pays-Bas	7e	II	1
— Étude sur les conditions de la production du beurre dans les Pays-Bas (*suite*) [avec une planche de deux cartes]	7e	II	211
— *Voir* Müntz (A.).			

	Années.	Tomes.	Pages.
Couraud (A.) et A. Andouard. — Influence de l'espacement sur le rendement des betteraves . . .	5e	II	469
Couturier (A.). — Recherches sur les échanges d'énergie et leurs rapports avec les échanges nutritifs chez le bœuf adulte à la ration d'entretien, par le Dr Kellner. Traduit de l'allemand. . . .	4e	II	229
— Recherches sur la consommation d'aliments et d'énergie des bœufs adultes à l'engrais, par Kellner et Kohler. Traduction de l'allemand.	4e	II	303
Crispo (D.). — Calcul de l'indemnité à laquelle a droit l'acheteur des aliments concentrés du commerce en cas de manquants de graisse, d'albumine, etc.	1re	II	294
— Rapport sur les accidents provoqués par l'emploi du nitrate de soude au printemps 1896.	4e	I	92
Crochetelle (J.). — Contribution à l'étude de l'assimilation des matières minérales du sol par les plantes	8e	II	33
Damseaux (A.). — Influence des dégagements d'anhydride sulfureux sur les terres et sur la production agricole.	2e	I	121
— La production des orges de malterie.	2e	I	215
Dienert (Fr.). — *Voir* Kayser (E.).			
Drouineau (Dr A.). — *Voir* Alquier (J.).			
Dugast (J.). — La température des fermentations en Algérie (avec 9 planches)	1re	I	273
— Étude des terres de colonisation de la commune de Cavaignac (Algérie) [avec 3 planches].	7e	I	425
— Les vins d'Algérie au point de vue de leur constitution chimique	10e	I	309
— Détermination du degré alcoolique des vins. . . .	10e	I	325
Dugast (J.) et J. Poussat. — La maturation des raisins en Algérie (avec 7 planches).	1re	I	260
— *Voir* Roos (L.).			
Durand (Ch.). — *Voir* Müntz (A.).			
Dyer (Bernard). — *Voir* Grandeau (L.).			
Ebermayer. — La nutrition minérale des arbres des forêts.	1re	I	234
Fallot (E.). — L'agriculture à Malte.	7e	II	378
Flammarion (C.). — La station de climatologie agricole de Juvisy. Première année (1894) [avec 16 diagrammes]	5e	I	1
Fleckinger. — *Voir* Vauchez (Albert).			

	Années.	Tomes.	Pages.
Fleurent (E.). — Recherches sur la composition immédiate et élémentaire des matières albuminoïdes extraites du grain des céréales et des graines des légumineuses ; conséquences pratiques de cette étude.	4e	I	371
— Recherches sur l'action exercée par différents agents physiques et chimiques sur le gluten des farines de blé. Conditions du dosage de cet élément . .	9e	II	450
— Coup d'œil général sur les progrès de la meunerie.	10e	I	419
Fribourg (Ch.). — *Voir* Pellet (H.).			
Fribourg (G.). — *Voir* Pellet (H.).			
Fron (A.). — Analyse et contrôle des semences forestières.	10e	II	332
Fron (G.). — *Voir* Bussard (L.).			
Gallemand (A.). — *Voir* Massol (L.).			
Garola (C. V.). — Dix années d'expériences agricoles à Cloches (avec 10 diagrammes)	3e	I	58
— Expériences sur l'amélioration de la culture des racines fourragères.	4e	I	422
Gastine (G.). — Recherches sur la composition des terres de la Crau et des eaux et limons de la Durance.	4e	I	155
— Étude sur la composition des terres de la Camargue, la composition des sables du cordon littoral rhodanien, la nature du salant de la Camargue. . .	4e	I	240
Girard (Aimé). — Application de la pomme de terre à l'alimentation du bétail. Production de la viande (avec 5 diagrammes)	1re	I	330
— Nouvelles observations sur la fragmentation des tubercules de plant de pomme de terre.	2e	I	428
— Nouvelles recherches au sujet de l'influence attribuée à la richesse en fécule des plants de pomme de terre sur l'abondance et la richesse des récoltes.	2e	I	440
— Amélioration de la culture de la pomme de terre. .	2e	I	453
— Recherches sur les quantités de matières fertilisantes nécessaires à la culture intensive de la pomme de terre.	3e	II	261
— Observations sur le rendement cultural et sur la teneur en fécule de plusieurs variétés de pommes de terre industrielles et fourragères	4e	I	46
Girard (Aimé) et **L. Lindet.** — Recherches sur le développement progressif de la grappe de raisin.	5e	II	179
Girard (A. Ch.). — *Voir* Müntz (A.).			
Girard (A. Ch.) et **E. Rousseaux.** — Recherches sur les exigences du tabac en principes fertilisants.	7e	II	297

	Années.	Tomes.	Pages.
— Le même (*suite*)	8e	I	329
— Le même (2e partie) [avec une planche]	9e	I	376
— Le même (2e partie) [*suite et fin*]	9e	II	16
Graftiau (**J.**). — Les bases du prix de vente des scories de déphosphoration	5e	II	117
— Les laboratoires d'analyses de l'État. Rapport présenté à l'assemblée générale extraordinaire du 18 décembre 1898	5e	II	122
— Composition des betteraves sucrières très riches de la campagne 1898	5e	II	173
— *Voir* PETERMANN (A.).			
Grandeau (**L.**). — Recherches de M. Bernard Dyer sur l'approvisionnement probable du sol en principes fertilisants	1re	I	433
— Le fumier de ferme et les engrais minéraux dans la culture maraîchère. Expériences faites, en 1894, à Golden Green, Tumbridge, par M. BERNARD DYER.	1re	II	25
— La sécheresse en 1893	1re	II	242
— Rapport sur les stations agronomiques et les laboratoires agricoles	1re	II	271
— Le sulla ou sainfoin d'Espagne et d'Algérie. Sa valeur comme plante fourragère et comme engrais vert.	1re	II	474
— J. Raulin, directeur de la Station agronomique du Rhône	2e	I	387
— La fumure du cotonnier	2e	II	253
— Les scories de déphosphoration; origine, production européenne, composition, emploi, application aux diverses cultures	2e	II	410
— Le même (*suite et fin*)	3e	I	1
— Les gisements de phosphates de chaux d'Algérie.	3e	II	213
— Contribution à l'étude du vanillier	3e	II	295
— De la valeur agricole des scories de déphosphoration.	3e	II	432
— Le nitrate de soude et le perchlorate de potasse. Remarques à propos de quelques insuccès dans la culture du seigle	4e	I	84
— Quelques données statistiques sur la production et la consommation des céréales alimentaires dans le monde	4e	II	187
— Le sucre et l'alimentation de l'homme et des animaux	4e	II	432
— La culture des céréales en France à dix ans de distance (1889 à 1898)	5e	II	440
— Quelques observations sur la production du blé en France	7e	I	117
— Notes sur le champ d'expériences du Parc des Princes	7e	I	254

	Années.	Tomes.	Pages.
— Les stations agronomiques aux États-Unis, en Allemagne et en France : leurs ressources et leur développement	7e	I	453
— Le commerce des produits agricoles aux États-Unis.	7e	I	461
— La question sucrière en 1903. Valeur et rôle alimentaires du sucre chez l'homme et chez les animaux	8e	I	1
— Antoine Ronna, 1830-1902 (avec un portrait)	8e	I	423
— Arthur Petermann, 1845-1902 (avec un portrait)	8e	I	433
— La ville de Paris et l'eau. Lettres au directeur du *Temps* (décembre 1904 à mai 1905)	10e	I	342
— Le monde des infiniment petits et l'agriculture	10e	I	450
— Le phosphate de chaux et l'alimentation du bétail.	10e	II	1
Grandeau (L.), H. Ballacey et **A. Alekan.** — Études expérimentales sur l'alimentation du cheval de trait (7e mémoire)	2e	II	113
Grandeau (L.) et **A. Alekan.** — Études expérimentales sur l'alimentation du cheval de trait (8e mémoire)	9e	I	30
— Le même (*suite*) [avec 2 planches]	9e	I	330
— Vingt années d'expériences sur l'alimentation du cheval de trait	10e	II	138
Grandeau (L.) et **E. Bartmann.** — Le champ d'expériences du Parc des Princes (1892-1897). Six années d'expériences de culture. Première série : 1892-1894 (avec un plan)	10e	I	237
— Le même. Deuxième série : 1895-1897	10e	II	288
Henry (E.). — La lutte contre l'*Ocneria dispar* aux États-Unis (avec une planche coloriée)	2e	I	276
— L'azote et la végétation forestière	3e	II	359
— Les forêts et les eaux souterraines dans les régions de plaines	4e	I	1
— Influence de la couverture morte sur l'humidité du sol forestier	7e	II	182
— Fixation de l'azote atmosphérique par les feuilles mortes en forêt	8e	II	313
— Sur la décomposition des feuilles mortes en forêt.	8e	II	328
— L'hylobe et l'hylésine du pin dans la Haute-Marne (avec une planche)	10e	I	140
— Observations sur le mémoire du Dr Hornberger intitulé : « La couverture morte des forêts et l'azote. »	10e	I	231
— *Voir* Tolsky (A.).			
Hickel (R.). — Essais d'introduction d'essences exotiques dans les forêts de Prusse et d'Autriche.	8e	I	142

	Années.	Tomes.	Pages.
Hilgard et **Loughridge**. — Sur la possibilité d'une culture avantageuse de la betterave à sucre dans certains terrains salants. Résumé par J. Vilbouchevitch	3e	II	382
— Échantillonnage des terrains salants. Façon de présenter les résultats de l'analyse ; suite des Études sur les terrains salants de la Californie. Résumé par J. Vilbouchevitch (avec 7 diagrammes)	3e	II	394
Hilgard (**E. W.**), **R. H. Loughridge, J. Burtt Davy, E. J. Wickson, A. B. Leckenby** et **Ch. Sinn**. — Résistance au salant et autres sujets. Suite des Études sur les terrains salants de la Californie. Résumé par J. Vilbouchevitch	4e	II	401
Hornberger (**Dr**). — La couverture morte des forêts et l'azote	10e	I	220
Joulie (**H.**). — Sur la formation et la conservation du fumier de ferme	3e	I	193
Kayser (**E.**). — Application des levures sélectionnées en vinification	5e	II	130
— Les microbes du sol. Conférence faite à l'assemblée générale de la Société nationale d'encouragement à l'agriculture. Séance du 23 mars 1905	10e	I	432
Kayser (**E.**) et **Fr. Dienert**. — Contribution à la biologie des levures	7e	I	99
— Le même (2e mémoire)	7e	I	399
— Étude sur les kirschs	10e	I	209
Kayser (**E**). et **G. Barba**. — Étude de quelques vins malades	4e	I	25
Kellner (**Dr**). — Recherches sur les échanges d'énergie et leurs rapports avec les échanges nutritifs chez le bœuf adulte à la ration d'entretien. Traduit de l'allemand par M. A. Couturier	4e	II	229
Kellner et **Kohler**. — Recherches sur la consommation d'aliments et d'énergie des bœufs adultes à l'engrais. Traduit de l'allemand par M. A. Couturier	4e	II	303
Kohler. — *Voir* Kellner.			
Kossowitsch (**Pr**). — Le rôle des plantes dans la dissolution des principes nutritifs du sol qui se trouvent à l'état non dissous. Traduit par M. Bresson	8e	I	220
Labergerie (**J.**). — Le *Solanum Commersoni* et ses variations, à Verrières (Vienne)	10e	I	57

	Années.	Tomes.	Pages.
Laborde (**J.**). — Sur le dosage de la chaux dans les terres	7e	II	82
Lafosse (**Henry**). — Sur le rôle des forêts au point de vue des services indirects	8e	II	288
Laurent (**M.**). — Recherches expérimentales sur l'assimilation de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique par les plantes supérieures	3e	II	175
Lebens (**Th.**). — Les irrigations	2e	I	243
Lechartier (**G.**). — Étude sur la vesce velue	2e	I	102
— Douze années de culture de topinambours dans un même champ	4e	I	121
— Étude sur le *Soja hispida*. Culture et composition.	8e	I	380
Leckenby (**A. B.**). — *Voir* Hilgard (E. W.), etc.			
Lecomte (**H.**). — Agriculture coloniale : Les textiles végétaux des colonies	2e	II	1
Lefebvre (**F.**). — Croissance, alimentation et prix de revient des jeunes animaux de l'espèce bovine (avec 5 planches)	10e	II	1
Lefort (**G.**). — *Voir* Malpeaux (L.).			
Lindet (**L.**). — *Voir* Girard (A.).			
Livache (**A.**). — Rapport sur le travail de M. E. Fleurent intitulé : Recherches sur la composition immédiate et élémentaire des matières albuminoïdes extraites du grain des céréales et des graines des légumineuses ; conséquences pratiques de cette étude	4e	I	418
Lonay (**A.**). — Le privilège du propriétaire	1re	II	379
Loughridge. — *Voir* Hilgard.			
Malpeaux (**L.**) et **G. Lefort**. — Expériences d'ensilage des betteraves et des pulpes	10e	II	226
Mamelle (**H.**). — Laboratoire de biologie végétale de Fontainebleau	7e	II	100
Mangin (**L.**). — Études sur la végétation dans ses rapports avec l'aération du sol. — Recherches sur les plantations des promenades de Paris (avec une planche)	2e	I	1
Marchal (feu **Pol**). — *Voir* Vauchez (Albert).			
Marsais (**G.**). — La lutte contre les campagnols	9e	II	1
Massol (**L.**) et **A. Gallemand**. — Notes sur le dosage des sucres réducteurs par la méthode Lehmann, modifiée par M. Maquenne	10e	II	85
Mayer (**A.**). — Unification internationale des méthodes d'analyse dans les stations agronomiques et les laboratoires agricoles	7e	II	48
Milliau (**E.**). — *Voir* Muntz (A.).			

	Années.	Tomes.	Pages.
Moens (B.). — *Voir* Claes (F.).			
Morosov (Dmitri). — Le pin sylvestre est-il calcifuge? Étude comparée des conditions de végétation du pin dans les sols siliceux et dans les sols calcaires	1re	I	289
—Sur la décomposition des matières albuminoïdes pendant la germination	2e	I	425
Motta Prego (João da). — *Voir* Almeida (V. d').			
Müntz (A.). — Recherches expérimentales sur la culture et l'exploitation des vignes (*suite*)	1re	I	1
— Procédés pour reconnaître la fraude des beurres par les matières grasses animales et végétales	1re	I	303
— Rapport sur la conservation du fumier	1re	II	311
— Recherches sur l'intervention de l'ammoniaque atmosphérique dans la nutrition végétale	2e	I	161
— Études sur les vignobles à hauts rendements	7e	II	402
Müntz (A.) et **Ed. Alby.** — De l'effet des arrosages tardifs sur la production de la vendange	5e	I	296
Müntz (A.) et **H. Coudon.** — Sur le dosage de la quantité de beurre contenu dans la margarine	3e	II	281
— Nouvelle méthode pour la recherche de la falsification du beurre par l'huile de coco et ses diverses formes commerciales	9e	I	1
Müntz (A.), Ch. Durand et **E. Milliau.** — Rapport sur les procédés à employer pour reconnaître les falsifications des huiles d'olive comestibles et industrielles	1re	II	154
— Falsifications des graisses industrielles et comestibles. — Procédés à employer pour les reconnaître	4e	II	113
Müntz (A.) et **A. Ch. Girard.** — L'alimentation sucrée par les betteraves desséchées	10e	I	154
Müntz (A.) et **E. Rousseaux.** — Études sur la vinification et sur la réfrigération des moûts	2e	I	321
— Nouvelles études sur la vinification et sur la réfrigération des moûts faites aux vendanges de 1896	3e	I	374
— La formation de l'ammoniaque dans les vins	3e	I	400
— Étude sur la valeur agricole des terres de Madagascar	7e	I	1
— Le même (*suite*)	7e	I	152
— Le même (*fin*) [avec une carte]	7e	I	296
Newton (W.). — L'origine du nitrate de soude au Chili	4e	I	40
Nocard (E.). — Prophylaxie de la tuberculose bovine	2e	I	139
Nyssens (P.). — Dosage de l'acide phosphorique par titration du phosphomolybdate d'ammoniaque	7e	II	91

	Années.	Tomes.	Pages.
Ototzky (P.). — Influence des forêts sur les eaux souterraines. Excursion hydrologique de 1895 dans les forêts des steppes	3e	II	455
— Influence des forêts sur les eaux souterraines. (Excursion hydrologique de 1897 dans les forêts septentrionales)	5e	II	300
— Sur le rôle hydrogéologique des forêts dans les régions montagneuses	9e	II	48
Pagnoul (A.). — Résumé des travaux de la Station agronomique du Pas-de-Calais	1re	II	104
— Observation relative au dosage des matières organiques dans les eaux	4e	II	95
— Quelques recherches relatives aux matières azotées du sol	4e	II	97
— Nouvelles observations sur la composition des beurres	7e	II	62
Pellet (H.). — Études sur la canne à sucre; dosage du sucre, composition de la canne, échantillonnage	3e	I	415
— Le même (*suite et fin*)	3e	II	1
Pellet (H.) et **G. Fribourg.** — Le nitrate de soude perchloraté. Ses effets sur la végétation	8e	II	199
Pellet (H.) et **Ch. Fribourg.** — Le titane	10e	II	20
Pensa (Ch.). — Étude sur la situation agricole et industrielle de l'Égypte (avec une planche)	2e	II	327
Perraud (J.). — Action du sulfure de carbone sur quelques champignons et ferments et en particulier sur la fermentation nitrique	2e	I	291
Petermann (A.). — Lois spéciales pour combattre la falsification des engrais, des substances alimentaires pour bétail et des semences	1re	II	277
— Station agronomique de l'État à Gembloux : Rapport sur les travaux de 1895	2e	II	238
— Les produits chimiques employés à la stérilisation des excréments humains sont-ils nuisibles aux plantes agricoles et aux microbes bienfaisants du sol?	3e	II	120
— Études sur la pomme de terre. Essais de nouvelles variétés; composition et valeur culinaire	7e	II	197
— Origine de l'arsenic contenu dans certaines bières	7e	II	392
— Valeur agricole des scories Martin	7e	II	393
Petermann (A.) et **J. Graftiau.** — Existe-t-il une relation constante entre la solubilité des scories de déphosphoration dans le citrate d'ammoniaque acide et le poids de la récolte produite?	3e	II	415

	Années.	Tomes.	Pages.
Petit (A.). — Du rôle de la porosité des poteries usitées en horticulture	7e	I	138
Poher (E.). — Dosage de l'acide phosphorique dans les matières organiques par le procédé de A. Neumann	8e	I	441
Potier. — Étude sur l'emploi des engrais phosphatés sur les terres de l'infracrétacé de la Puisaye	3e	II	136
Poussat (J.). — *Voir* Dugast (J.).			
Raquet (H.). — De l'utilisation, pour la consommation publique, des viandes provenant d'animaux tuberculeux	1re	II	340
Raulin (J.). — Études sur les vers à soie	1re	II	45
— Étude des qualités industrielles du cocon du *Bombyx mori* en 1895	2e	I	301
— Expériences sur l'espacement des cultures	2e	I	394
— Influence des proportions d'éléments fertilisants sur les récoltes	2e	I	404
— Influence de la nature du terrain sur les diverses récoltes	2e	I	410
Reeb (E.). — *Voir* Schlagdenhauffen (F.).			
Riban (Ch.). — La Tunisie. Histoire de la colonisation	1re	II	390
Ronna (A.). — Rothamsted. Un demi-siècle d'expériences agronomiques, de MM. Lawes et Gilbert (avec 2 portraits)	6e	I	30
— Le même (*fin*)	6e	II	139
Roos (L.), E. Rousseaux et **J. Dugast.** — Rapport sur les vins des terrains salés de l'Algérie	6e	II	276
Rousseaux (E.). — Études sur la vinification dans le canton de Neuchâtel, faites aux vendanges de 1897	4e	I	1
Rousseaux (E.) et **G. Chappaz.** — Étude sur le vignoble de Chablis. Les conditions de la production du vin et les exigences de la vigne en principes fertilisants (avec une carte)	9e	I	71
— *Voir* Coudon (H.).			
— *Voir* Girard (A. Ch.).			
— *Voir* Müntz (A.).			
— *Voir* Roos (L.).			
Saillard (E.). — Étude sur quelques stations agronomiques allemandes. — Deuxième partie : Station agronomique de Halle (*suite*)	2e	I	70
San Bernardo (Cte de). — Considérations générales sur l'état de l'agronomie. Traduit de l'espagnol par G. Wolfrom	10e	I	402

	Années.	Tomes.	Pages.
Schlagdenhauffen (F.) et **E. Reeb.** — Du rôle de la lécithine dans les plantes	7e	II	458
Schlœsing (Th.). — L'acide nitrique dans les eaux de rivière et de source	3e	II	75
— Sur les relations des dissolutions contenues dans les sols avec les phosphates employés comme engrais	7e	I	406
Schlœsing fils (Th.). — Étude sur l'acide phosphorique dissous par les eaux du sol	5e	I	316
— L'acide phosphorique dissous par les eaux du sol; son utilisation par les plantes	7e	II	77
Schmitz (O.). — Rapports entre le propriétaire et l'exploitant du sol	1re	II	361
Semichon (Lucien). — Les progrès de la vinification dans l'Aude	3e	I	292
Sinn (Ch.). — *Voir* Hilgard (E. W.), etc.			
Theunis (A.). — Note sur l'organisation de la Ligue des paysans ou Boerenbond	2e	I	148
Tolsky (A.) et **Ed. Henry.** — Les forêts de plaine et les eaux souterraines :			
I. Expériences faites en Russie, de novembre 1901 à octobre 1902, par A. Tolsky (avec une planche)	8e	I	397
II. Expériences faites en France, 1900-1902, par E. Henry (avec 2 planches)	8e	I	403
Van Ermengem (Dr E.). — La désinfection des engrais liquides	2e	I	271
Vauchez (Albert) et feu **Pol Marchal.** — Marche de la température et de la fermentation dans l'ensilage des fourrages verts. En collaboration avec MM. Fleckinger et Bonnétat (avec 9 planches)	6e	II	1
Verstappen (D.). — La sidération par les lupins et la restauration économique du sol épuisé des pinières	1re	II	349
Vilbouchevitch (J.). — Encore un salt-bush	4e	II	268
— Sur la possibilité d'une culture avantageuse de la betterave à sucre dans certains terrains salants, par Hilgard et Loughridge. Résumé	3e	II	382
— Échantillonnage des terrains salants. Façon de présenter les résultats de l'analyse; suite des Études sur les terrains salants de la Californie, par Hilgard et Loughridge. Résumé (avec 7 diagrammes)	3e	II	394

	Années.	Tomes.	Pages.
— Résistance au salant et autres sujets. Suite des Études sur les terrains salants de la Californie, par E. W. Hilgard, R. H. Loughridge, J. Burtt Davy, E. J. Wickson, A. B. Leckenby et Ch. Sinn. Résumé	4e	II	401
Vincent. — Étude sur l'absorption des dissolutions nutritives par le grain de blé et son influence sur la germination (avec 2 diagrammes)	4e	II	272
Vivier (A.). — Recherches sur la fumure minérale de la betterave à sucre en 1895	2e	I	374
Wesenberg (G.). — Recherches comparées sur quelques procédés de désinfection à employer dans les industries de fermentation et dans la lutte contre le *Merulius lacrymans*	9e	II	82
Wickson (E. J.). — *Voir* Hilgard (E. W.), etc.			
Wolfrom (G.). — Considérations générales sur l'état de l'agronomie, par le Cte de San Bernardo. Traduit de l'espagnol	10e	I	402
Wollny (Dr). — La décomposition des matières organiques et les formes d'humus dans leurs rapports avec l'agriculture	4e	II	339
— Le même (*suite*)	5e	I	208
— Le même (*suite*)	5e	II	1 et 260
— Le même (*suite*)	5e	II	362
— Le même (*suite*)	6e	I	1
— Le même (*suite*)	6e	II	33
— Le même (*fin*)	6e	II	338
Wyssotzky (G.). — L'humidité du sol et du sous-sol dans les steppes russes boisées ou nues (Véliko-Anadol)	6e	II	120

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

DE LA DEUXIÈME SÉRIE

(1894-1905)

Ire ANNÉE (1894-1895)

TOME Ier

Pages.

A. Müntz. — Recherches expérimentales sur la culture et l'exploitation des vignes (*suite*). 1

Ebermayer. — La nutrition minérale des arbres des forêts 234

J. Dugast et J. Poussat. — La maturation des raisins en Algérie (avec sept planches) 260

J. Dugast. — La température des fermentations en Algérie (avec neuf planches) 273

Dmitri Morosov. — Le pin sylvestre est-il calcifuge? Étude comparée des conditions de végétation du pin dans les sols siliceux et dans les sols calcaires 289

A. Müntz. — Procédés pour reconnaître la fraude des beurres par les matières grasses animales et végétales. 303

Aimé Girard. — Application de la pomme de terre à l'alimentation du bétail. Production de la viande (avec cinq diagrammes). 330

Cormouls-Houlès. — Expériences d'alimentation à la pomme de terre. 426

L. Grandeau. — Recherches de M. Bernard Dyer sur l'approvisionnement probable du sol en principes fertilisants. 433

TOME II

M. F. Lefebvre. — Croissance, alimentation et prix de revient des jeunes animaux de l'espèce bovine (avec cinq planches) 1

L. Grandeau. — Le fumier de ferme et les engrais minéraux dans la culture maraîchère. Expériences faites, en 1894, à Golden Green, Tumbridge, par M. Bernard Dyer 25

Pages.

J. Raulin. — Études sur les vers à soie. 45
A. Pagnoul. — Résumé des travaux de la Station agronomique du Pas-de-Calais 104
Verissimo d'Almeida et Joao da Motta Prego. — Les maladies de la vigne en Portugal pendant l'année 1894. 140
A. Müntz, Ch. Durand et E. Milliau. — Rapport sur les procédés à employer pour reconnaître les falsifications des huiles d'olive comestibles et industrielles. 154
L. Grandeau. — La sécheresse en 1893. 242

Congrès international d'agriculture de Bruxelles

L. Grandeau. — Rapport sur les stations agronomiques et les laboratoires agricoles 271
A. Petermann. — Lois spéciales pour combattre la falsification des engrais, des substances alimentaires pour bétail et des semences. . . 277
D. Crispo. — Calcul de l'indemnité à laquelle a droit l'acheteur des aliments concentrés du commerce en cas de manquant de graisse, d'albumine, etc. 294
A. Müntz. — Rapport sur la conservation du fumier. 311
F. Claes et B. Moens. — Dangers que peut offrir l'emploi des boues de ville comme fumure des pâturages 337
H. Raquet. — De l'utilisation, pour la consommation publique, des viandes provenant d'animaux tuberculeux. 340
D. Verstappen. — La sidération par les lupins et la restauration économique du sol épuisé des pinières. 349
O. Schmitz. — Rapports entre le propriétaire et l'exploitant du sol. . 361
A. Lonay. — Le privilège du propriétaire 379
Ch. Riban. — La Tunisie. Histoire de la colonisation. 390
L. Grandeau. — Le sulla ou sainfoin d'Espagne et d'Algérie. Sa valeur comme plante fourragère et comme engrais vert. 474

2e ANNÉE (1896)

TOME Ier

L. Mangin. — Études sur la végétation dans ses rapports avec l'aération du sol. — Recherches sur les plantations des promenades de Paris (avec une planche). 1
E. Saillard. — Étude sur quelques stations agronomiques allemandes. — Deuxième partie : Station agronomique de Halle (*suite*) 70
G. Lechartier. — Étude sur la vesce velue 102
A. Damseaux. — Influence des dégagements d'anhydride sulfureux sur les terres et sur la production agricole. 121

Pages.

E. Nocard. — Prophylaxie de la tuberculose bovine. 139
A. Theunis. — Note sur l'organisation de la Ligue des paysans ou Boerenbond 148
A. Müntz. — Recherches sur l'intervention de l'ammoniaque atmosphérique dans la nutrition végétale. 161
A. Damseaux. — La production des orges de malterie 215
Th. Lebens. — Les irrigations. 243
J. Bénard. — Les cartes agronomiques de l'arrondissement de Meaux (Seine-et-Marne), France 264
Dr E. Van Ermengem. — La désinfection des engrais liquides . . . 271
E. Henry. — La lutte contre l'*Ocneria dispar* aux États-Unis (avec une planche coloriée). 276
J. Perraud. — Action du sulfure de carbone sur quelques champignons et ferments et en particulier sur la fermentation nitrique . . . 291
J. Raulin. — Étude des qualités industrielles du cocon du *Bombyx mori* en 1895 301
— Expériences sur l'influence de la variation des climats sur la végétation. 311
A. Müntz et E. Rousseaux. — Études sur la vinification et sur la réfrigération des moûts. 321
A. Vivier. — Recherches sur la fumure minérale de la betterave à sucre en 1895 374
L. Grandeau. — J. Raulin, directeur de la Station agronomique du Rhône. 387
J. Raulin. — Expériences sur l'espacement des cultures. 394
— Influence des proportions d'éléments fertilisants sur les récoltes . . 404
— Influence de la nature du terrain sur les diverses récoltes 410
Dm. Morosow. — Sur la décomposition des matières albuminoïdes pendant la germination. 425
A. Girard. — Nouvelles observations sur la fragmentation des tubercules de plant de pomme de terre 428
— Nouvelles recherches au sujet de l'influence attribuée à la richesse en fécule des plants de pomme de terre sur l'abondance et la richesse des récoltes 440
— Amélioration de la culture de la pomme de terre 453

TOME II

H. Lecomte. — Agriculture coloniale : Les textiles végétaux des colonies 1
L. Grandeau, H. Ballacey et A. Alekan. — Études expérimentales sur l'alimentation du cheval de trait (7e mémoire). 113
M. A. Petermann. — Station agronomique de l'État à Gembloux : Rapport sur les travaux de 1895. 238
L. Grandeau. — La fumure du cotonnier 253

Pages.

M. P. Bonâme. — Station agronomique de l'île Maurice : Rapport sur les travaux de 1895. 265
Ch. Pensa. — Étude sur la situation agricole et industrielle de l'Égypte (avec une planche) 327
L. Grandeau. — Les scories de déphosphoration ; origine, production européenne, composition, emploi, application aux diverses cultures. . 410

3e ANNÉE (1897)

TOME Ier

L. Grandeau. — Les scories de déphosphoration ; origine, production européenne, composition, emploi, application aux diverses cultures (*suite et fin*) 1
C. V. Garola. — Dix années d'expériences agricoles à Cloches (avec dix diagrammes) 58
H. Joulie. — Sur la formation et la conservation du fumier de ferme. 193
Henri Coudon et Léon Bussard. — Recherches sur la pomme de terre alimentaire. 250
Lucien Semichon. — Les progrès de la vinification dans l'Aude. . . 292
A. Müntz et E. Rousseaux. — Nouvelles études sur la vinification et sur la réfrigération des moûts faites aux vendanges de 1896. 374
— La formation de l'ammoniaque dans les vins 400
H. Pellet. — Études sur la canne à sucre ; dosage du sucre, composition de la canne, échantillonnage 415

TOME II

H. Pellet. — Études sur la canne à sucre ; dosage du sucre, composition de la canne, échantillonnage (*suite et fin*). 1
Th. Schlœsing. — L'acide nitrique dans les eaux de rivière et de source. 75
A. Petermann. — Les produits chimiques employés à la stérilisation des excréments humains sont-ils nuisibles aux plantes agricoles et aux microbes bienfaisants du sol ? 120
M. Potier. — Étude sur l'emploi des engrais phosphatés sur les terres de l'infracrétacé de la Puisaye. 136
M. Laurent. — Recherches expérimentales sur l'assimilation de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique par les plantes supérieures. 175
L. Grandeau. — Les gisements de phosphates de chaux d'Algérie . . 213
A. Girard. — Recherches sur les quantités de matières fertilisantes nécessaires à la culture intensive de la pomme de terre. 261
A. Müntz et H. Coudon. — Sur le dosage de la quantité de beurre contenu dans la margarine. 281

Pages.
L. Grandeau. — Contribution à l'étude du vanillier 295
M. P. Bonâme. — Station agronomique de l'île Maurice : Rapport sur les travaux de 1896 307
E. Henry. — L'azote et la végétation forestière 359
Hilgard et Loughridge. — Sur la possibilité d'une culture avantageuse de la betterave à sucre dans certains terrains salants. Résumé par J. Vilbouchevitch 382
— Échantillonnage des terrains salants. Façon de présenter les résultats de l'analyse ; suite des Études sur les terrains salants de la Californie. Résumé par J. Vilbouchevitch (avec sept diagrammes) 394
L. Grandeau. — De la valeur agricole des scories de déphosphoration 432
A. Petermann et J. Graftiau. — Existe-t-il une relation constante entre la solubilité des scories de déphosphoration dans le citrate d'ammoniaque acide et le poids de la récolte produite ? 445
P. Ototzky. — Influence des forêts sur les eaux souterraines. Excursion hydrologique de 1895 dans les forêts des steppes 455

4e ANNÉE (1898)

TOME Ier

E. Henry. — Les forêts et les eaux souterraines dans les régions de plaines 1
E. Kayser et G. Barba. — Étude de quelques vins malades 25
W. Newton. — L'origine du nitrate de soude au Chili 40
A. Girard. — Observations sur le rendement cultural et sur la teneur en fécule de plusieurs variétés de pommes de terre industrielles et fourragères 46
L. Grandeau. — Le nitrate de soude et le perchlorate de potasse. Remarques à propos de quelques insuccès dans la culture du seigle . . 84
M. Crispo. — Rapport sur les accidents provoqués par l'emploi du nitrate de soude au printemps 1896 92
M. G. Lechartier. — Douze années de culture de topinambours dans un même champ 121
G. Gastine. — Recherches sur la composition des terres de la Crau et des eaux et limons de la Durance 155
— Étude sur la composition des terres de la Camargue, la composition des sables du cordon littoral rhodanien, la nature du salant de la Camargue 240
E. Fleurent. — Recherches sur la composition immédiate et élémentaire des matières albuminoïdes extraites du grain des céréales et des graines des légumineuses ; conséquences pratiques de cette étude 371

Pages.

A. Livache. — Rapport sur le travail de M. E. Fleurent intitulé : *Recherches sur la composition immédiate et élémentaire des matières albuminoïdes extraites du grain des céréales et des graines des légumineuses ; conséquences pratiques de cette étude.* 418

C. V. Garola. — Expériences sur l'amélioration de la culture des racines fourragères. 422

TOME II

E. Rousseaux. — Études sur la vinification dans le canton de Neuchâtel, faites aux vendanges de 1897 1

Pagnoul. — Observation relative au dosage des matières organiques dans les eaux 95

— Quelques recherches relatives aux matières azotées du sol 97

A. Müntz, Ch. Durand et E. Milliau. — Falsifications des graisses industrielles et comestibles. — Procédés à employer pour les reconnaître. 113

L. Grandeau. — Quelques données statistiques sur la production et la consommation des céréales alimentaires dans le monde. 187

Dr Kellner. — Recherches sur les échanges d'énergie et leurs rapports avec les échanges nutritifs chez le bœuf adulte à la ration d'entretien. Traduit de l'allemand par M. A. Couturier 229

J. Vilbouchevitch. — Encore un salt-bush 268

Vincent. — Étude sur l'absorption des dissolutions nutritives par le grain de blé et son influence sur la germination (avec deux diagrammes) 272

Kellner et Kohler. — Recherches sur la consommation d'aliments et d'énergie des bœufs adultes à l'engrais. Traduit de l'allemand par M. A. Couturier 303

Dr Wollny. — La décomposition des matières organiques et les formes d'humus dans leurs rapports avec l'agriculture. 339

E. W. Hilgard, R. H. Loughridge, J. Burtt Davy, E. J. Wickson, A. B. Leckenby et Ch. Sinn. — Résistance au salant et autres sujets. Suite des Études sur les terrains salants de la Californie. Résumé par J. Vilbouchevitch 401

L. Grandeau. — Le sucre et l'alimentation de l'homme et des animaux 432

5e ANNÉE (1899)

TOME Ier

C. Flammarion. — La Station de climatologie agricole de Juvisy. Première année (1894) [avec seize diagrammes] 1

Pages.

— Emploi du nitrate de soude et des engrais chimiques en agriculture et en viticulture. Résultats des champs de démonstration, expériences et concours, obtenus, en 1898, dans vingt-cinq départements 38

Dr Wollny. — La décomposition des matières organiques et les formes d'humus dans leurs rapports avec l'agriculture (*suite*). 208

Colomb-Pradel. — Sur l'utilisation agricole d'un résidu industriel (poussières des hauts fourneaux) 287

A. Müntz et Ed. Alby. — De l'effet des arrosages tardifs sur la production de la vendange 296

Th. Schlœsing fils. — Étude sur l'acide phosphorique dissous par les eaux du sol. 316

— Emploi du nitrate de soude et des engrais chimiques en agriculture et en viticulture. Résultats des champs de démonstration, expériences et concours, obtenus, en 1898, dans vingt-cinq départements (*suite*) [avec une planche] 360

TOME II

Dr Wollny. — La décomposition des matières organiques et les formes d'humus dans leurs rapports avec l'agriculture (*suite*). 1

J. Graftiau. — Les bases du prix de vente des scories de déphosphoration. 117

— Les laboratoires d'analyses de l'État. Rapport présenté à l'assemblée générale extraordinaire du 18 décembre 1898 122

E. Kayser. — Application des levures sélectionnées en vinification . . 130

— Méthodes conventionnelles adoptées par les laboratoires belges, les stations agricoles hollandaises et la Station agricole du grand-duché de Luxembourg pour l'analyse des matières fertilisantes et des substances alimentaires du bétail. 159

J. Graftiau. — Composition des betteraves sucrières très riches de la campagne 1898. 173

A. Girard et L. Lindet. — Recherches sur le développement progressif de la grappe de raisin 179

Dr Wollny. — La décomposition des matières organiques et les formes d'humus dans leurs rapports avec l'agriculture (*suite*). 260

P. Ototzky. — Influence des forêts sur les eaux souterraines (Excursion hydrologique de 1897 dans les forêts septentrionales). 300

H. Coudon. — Recherches expérimentales sur la culture de la fraise dans les environs de Paris. 317

Dr Wollny. — La décomposition des matières organiques et les formes d'humus dans leurs rapports avec l'agriculture (*suite*). 362

L. Grandeau. — La culture des céréales en France à dix ans de distance (1889 à 1898). 440

A. Andouard. — Champ d'expériences de la Station agronomique de la Loire-Inférieure 456

A. Couraud et A. Andouard. — Influence de l'espacement sur le rendement des betteraves 469

6e ANNÉE (1900)

TOME Ier

Pages.

Dr Wollny. — La décomposition des matières organiques et les formes d'humus dans leurs rapports avec l'agriculture (*suite*). 1

A. Ronna. — Rothamsted. Un demi-siècle d'expériences agronomiques de MM. Lawes et Gilbert (avec deux portraits). 30

TOME II

Albert Vauchez et feu Pol Marchal. — Marche de la température et de la fermentation dans l'ensilage des fourrages verts. En collaboration avec MM. Fleckinger et Bonnétat (avec neuf planches) 1

Dr Wollny. — La décomposition des matières organiques et les formes d'humus dans leurs rapports avec l'agriculture (*suite*). 33

G. Wyssotzky. — L'humidité du sol et du sous-sol dans les steppes russes boisées ou nues (Véliko-Anadol) 120

A. Ronna. — Rothamsted. Un demi-siècle d'expériences agronomiques de MM. Lawes et Gilbert (*fin*) 139

L. Roos, E. Rousseaux et J. Dugast. — Rapport sur les vins des terrains salés de l'Algérie 276

Dr Wollny. — La décomposition des matières organiques et les formes d'humus dans leurs rapports avec l'agriculture (*fin*) 338

Dr Alexius de Sigmond. — Expériences préliminaires pour déterminer, dans la terre végétale, la partie dite assimilable de l'acide phosphorique 451

7e ANNÉE (1901)

TOME Ier

A. Müntz et E. Rousseaux. — Étude sur la valeur agricole des terres de Madagascar 1

E. Kayser et Fr. Diénert. — Contribution à la biologie des levures. 99

L. Grandeau. — Quelques observations sur la production du blé en France 117

A. Petit. — Du rôle de la porosité des poteries usitées en horticulture. 138

A. Müntz et E. Rousseaux. — Étude sur la valeur agricole des terres de Madagascar (*suite*). 152

L. Grandeau. — Notes sur le champ d'expériences du Parc des Princes. 254

M. Artus. — Terres du marais septentrional de la Vendée : leur composition et leur épuisement par une culture sans engrais 288

Pages.

A. Müntz et E. Rousseaux. — Étude sur la valeur agricole des terres de Madagascar (*fin*) [avec une carte] 296
E. Kayser et Fr. Diénert. — Contribution à la biologie des levures (2e mémoire). 399
M. Th. Schlœsing. — Sur les relations des dissolutions contenues dans les sols avec les phosphates employés comme engrais. 406
J. Dugast. — Étude des terres de colonisation de la commune de Cavaignac (Algérie) [avec trois planches]. 425
L. Grandeau. — Les stations agronomiques aux États-Unis, en Allemagne et en France : leurs ressources et leur développement 453
— Le commerce des produits agricoles aux États-Unis 461

TOME II

H. Coudon et E. Rousseaux. — Rapport sur la composition des beurres des Pays-Bas 1
Congrès international des directeurs des stations agronomiques (1900) :
M. Alekan. — Expériences d'alimentation au sucre. 38
M. A. Mayer. — Unification internationale des méthodes d'analyse dans les stations agronomiques et les laboratoires agricoles. . . 48
M. B. Bogdan. — La Station de Valouyskaya. 52
M. A. Pagnoul. — Nouvelles observations sur la composition des beurres. 62
M. Th. Schlœsing fils. — L'acide phosphorique dissous par les eaux du sol ; son utilisation par les plantes 77
J. Laborde. — Sur le dosage de la chaux dans les terres 82
M. P. Nyssens. — Dosage de l'acide phosphorique par titration du phosphomolybdate d'ammoniaque. 91

H. Mamelle. — Le laboratoire de biologie végétale de Fontainebleau. 100
L. Bussard et G. Fron. — Tourteaux de graines oléagineuses. Examen macroscopique et microscopique. Diagnose 117
Ed. Henry. — Influence de la couverture morte sur l'humidité du sol forestier. 182
A. Petermann. — Études sur la pomme de terre. Essais de nouvelles variétés ; composition et valeur culinaire 197
H. Coudon et E. Rousseaux. — Étude sur les conditions de la production du beurre dans les Pays-Bas (*suite*) [avec une planche de deux cartes] 211
L. Bussard et G. Fron. — Tourteaux de graines oléagineuses. Examen macroscopique et microscopique. Diagnose (*suite*) 238
A. Ch. Girard et E. Rousseaux. — Recherches sur les exigences du tabac en principes fertilisants 297

Pages.

E. Fallot. — L'agriculture à Malte 378
A. Petermann. — Origine de l'arsenic contenu dans certaines bières. 392
— Valeur agricole des scories Martin 397
M. A. Müntz. — Études sur les vignobles à hauts rendements 402
F. Schlagdenhauffen et E. Reeb. — Du rôle de la lécithine dans les plantes 458

8e ANNÉE (1902-1903)

TOME Ier

L. Grandeau. — La question sucrière en 1903. Valeur et rôle alimentaires du sucre chez l'homme et chez les animaux 1
R. Hickel. — Essais d'introduction d'essences exotiques dans les forêts de Prusse et d'Autriche 142
Pr Kossowitsch. — Le rôle des plantes dans la dissolution des principes nutritifs du sol qui se trouvent à l'état non dissous. Traduit par M. Bresson 226
J. Alquier et Dr A. Drouineau. — Glycogénie et alimentation rationnelle au sucre. 240
A. Ch. Girard et E. Rousseaux. — Recherches sur les exigences du tabac en principes fertilisants (*suite*) 329
G. Lechartier. — Étude sur le *Soja hispida*. Culture et composition. 380
A. Tolsky et Ed. Henry. — Les forêts de plaine et les eaux souterraines :
I. Expériences faites en Russie, de novembre 1901 à octobre 1902, par A. Tolsky (avec une planche) 397
II. Expériences faites en France, 1900-1902, par E. Henry (avec deux planches) 403
L. Grandeau. — Antoine Ronna, 1830-1902 (avec un portrait) 423
— Arthur Petermann, 1845-1902 (avec un portrait) 433
E. Poher. — Dosage de l'acide phosphorique dans les matières organiques par le procédé de A. Neumann. 441
État statistique des Stations agronomiques et des laboratoires agricoles en 1902. 448

TOME II

Travaux de la commission chargée de l'unification internationale des méthodes d'analyse. 1
J. Crochetelle. — Contribution à l'étude de l'assimilation des matières minérales du sol par les plantes 33
J. Alquier et Dr A. Drouineau. — Glycogénie et alimentation rationnelle au sucre (*suite*) 45

Pages.

H. Pellet et G. Fribourg. — Le nitrate de soude perchloraté. Ses effets sur la végétation 199
J. Alquier et Dr A. Drouineau. — Glycogénie et alimentation rationnelle au sucre (*suite*) 226
Henry Lafosse. — Sur le rôle des forêts au point de vue des services indirects 288
E. Henry. — Fixation de l'azote atmosphérique par les feuilles mortes en forêt 313
— Sur la décomposition des feuilles mortes en forêt 328
J. Alquier et Dr A. Drouineau. — Glycogénie et alimentation rationnelle au sucre (*suite*) 334

9e ANNÉE (1904)

TOME Ier

A. Müntz et H. Coudon. — Nouvelle méthode pour la recherche de la falsification du beurre par l'huile de coco et ses diverses formes commerciales 1
L. Grandeau et A. Alekan. — Études expérimentales sur l'alimentation du cheval de trait (8e mémoire) 30
E. Rousseaux et G. Chappaz. — Étude sur le vignoble de Chablis. Les conditions de la production du vin et les exigences de la vigne en principes fertilisants (avec une carte) 71
J. Alquier et Dr A. Drouineau. — Glycogénie et alimentation rationnelle au sucre (*suite*) 124
A. Bruno. — L'amélioration de la betterave à sucre au début du vingtième siècle 272
L. Grandeau et A. Alekan. — Études expérimentales sur l'alimentation du cheval de trait (8e mémoire) [*suite*] (avec deux planches) . . 330
J. Alquier et Dr A. Drouineau. — Glycogénie et alimentation rationnelle au sucre (*suite*) 358
A. Ch. Girard et E. Rousseaux. — Recherches sur les exigences du tabac en principes fertilisants (2e partie) [avec une planche] 376

TOME II

G. Marsais. — La lutte contre les campagnols 1
A. Ch. Girard et E. Rousseaux. — Recherches sur les exigences du tabac en principes fertilisants (2e partie) [*suite et fin*] 16
M. Ototzky. — Sur le rôle hydrogéologique des forêts dans les régions montagneuses 48
Arkadij Dmentjew, de Tiflis. — La chlorose des plantes et les moyens de la combattre 63

Pages.

G. Wesenberg. — Recherches comparées sur quelques procédés de désinfection à employer dans les industries de fermentation et dans la lutte contre le *Merulius lacrymans* 82

J. Alquier et Dr A. Drouineau. — Glycogénie et alimentation rationnelle au sucre (*suite et fin*) [avec deux planches]. 98

Emploi du nitrate de soude et des engrais chimiques en agriculture et en viticulture. Résultats des champs de démonstration, expériences et concours, obtenus, en 1903, en France, en Suisse, en Algérie et en Tunisie 210

E. Fleurent. — Recherches sur l'action exercée par différents agents physiques et chimiques sur le gluten des farines de blé. Conditions du dosage de cet élément. 450

10e ANNÉE (1905)

TOME Ier

L. Bussard et G. Fron. — Tourteaux de graines oléagineuses : origine, composition, utilisation, caractères macroscopiques et microscopiques, diagnose (*suite*). 1

J. Labergerie. — Le *Solanum Commersoni* et ses variations, à Verrières (Vienne). 57

E. Henry. — L'hylobe et l'hylésine du pin dans la Haute-Marne (avec une planche). 140

A. Müntz et A. Ch. Girard. — L'alimentation sucrée par les betteraves desséchées 154

A. Chauveau. — Le prolongement, chez le sujet alimenté, du processus de dépense énergétique de l'état d'inanition d'après les échanges respiratoires pendant le travail 191

E. Kayser et Fr. Dienert. — Étude sur les kirschs 209

Dr Hornberger. — La couverture morte des forêts et l'azote. 220

E. Henry. — Observations sur le mémoire précédent 231

L. Grandeau et E. Bartmann. — Le champ d'expériences du Parc des Princes (1892-1897). Six années d'expériences de culture. Première série : 1892 à 1894 (avec un plan) 237

J. Dugast. — Les vins d'Algérie au point de vue de leur constitution chimique 309

— Détermination du degré alcoolique des vins. 325

L. Grandeau. — La ville de Paris et l'eau. Lettres au directeur du *Temps* (décembre 1904 à mai 1905) 342

Cte de San Bernardo. — Considérations générales sur l'état de l'agronomie. Traduit de l'espagnol par G. Wolfrom 402

E. Fleurent. — Coup d'œil général sur les progrès de la meunerie . . 419

Pages.

E. Kayser. — Les microbes du sol. Conférence faite à l'assemblée générale de la Société nationale d'encouragement à l'agriculture. Séance du 23 mars 1905 432

L. Grandeau. — Le monde des infiniment petits et l'agriculture . . . 450

TOME II

L. Grandeau. — Le phosphate de chaux et l'alimentation du bétail . . 1

H. Pellet et Ch. Fribourg. — Le titane 20

L. Massol et A. Gallemand. — Note sur le dosage des sucres réducteurs par la méthode de Lehmann, modifiée par M. Maquenne 85

J. Alquier. — Alimentation rationnelle de la vache laitière. Contrôle de son rendement 100

Böhmerle et Dr Cieslar. — Essais d'irrigation en forêt faits près de Vienne (Autriche) 124

L. Grandeau et A. Alekan. — Vingt années d'expériences sur l'alimentation du cheval de trait 138

L. Malpeaux et G. Lefort. — Expériences d'ensilage des betteraves et des pulpes 226

L. Grandeau et E. Bartmann. — Le champ d'expériences du Parc des Princes (1892-1897). Six années d'expériences de culture. Deuxième série : 1895-1897 288

A. Fron. — Analyse et contrôle des semences forestières 339

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES 439

TABLE ALPHABÉTIQUE DES NOMS D'AUTEURS 451

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES 465

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DEUXIÈME (1905)

Pages.

L. Grandeau. — Le phosphate de chaux et l'alimentation du bétail 1

H. Pellet et Ch. Fribourg. — Le titane 20

L. Massol et A. Gallemand. — Note sur le dosage des sucres réducteurs par la méthode Lehmann, modifiée par M. Maquenne. 85

J. Alquier. — Alimentation rationnelle de la vache laitière. Contrôle de son rendement 100

Bohmerle et Dr Cieslar. — Essais d'irrigation en forêt faits près de Vienne (Autriche). 124

L. Grandeau et A. Alekan. — Vingt années d'expériences sur l'alimentation du cheval de trait 138

L. Malpeaux et G. Lefort. — Expériences d'ensilage des betteraves et des pulpes 226

L. Grandeau et E. Bartmann. — Le champ d'expériences du Parc des Princes (1892-1897). Six années d'expériences de culture. Deuxième série : 1895-1897 288

M. A. Fron. — Analyse et contrôle des semences forestières. . . 339

Table alphabétique des matières de la deuxième série (années XI a XX). 439

Table alphabétique des noms d'auteurs 451

Table méthodique des matières de la deuxième série 465

Nancy. — Impr. Berger-Levrault et Cie